Asociația Inginerilor de Instalații din România

Electrice

ENCICLOPEDIA TEHNICĂ DE INSTALAȚII

manualul de INSTALAȚII

Ediția a II-a

EDITURA ARTECNO BUCUREȘTI

ENCICLOPEDIA TEHNICĂ DE INSTALAȚII

MANUALUL DE INSTALAȚII

SISTEME DE ILUMINAT, INSTALAȚII ELECTRICE ȘI DE AUTOMATIZARE

E

- Sisteme de iluminat interior și exterior;
- Instalații de alimentare cu energie electrică ale clădirilor;
- Instalații pentru protecția clădirilor la descărcări electrice atmosferice;
- Automatizarea instalațiilor de încălzire, ventilare, climatizare, sanitare, electrice;
- Echipamente și materiale pentru instalații electrice și de automatizare.

Editura **ARTECNO** București S.R.L.

Coordonator: Prof. univ. dr. ing. **Niculae MIRA**

Autori:

Partea I

Coordonator Partea I: Prof. univ. dr. ing. **Cornel BIANCHI**

Prof. univ. dr. ing. **Cornel BIANCHI: 2; 3; 5** (5.7); **6; 8; 9; 10** (10.4; 10.5); **11; 12; 13**

Şef lucrări dr. ing. **Gabriel ISPAS: 4.8**

Prof. univ. dr. ing. **Niculae MIRA: 1; 7**

Prof. univ. dr. ing. **Dan MOROLDO: 5** (5.1; 5.2; 5.3; 5.4; 5.8)

Conf. univ. dr. ing. **Hrisia MOROLDO: 10** (10.1; 10.2; 10.3); **12** (12.2.1)

Şef lucrări dr. ing. **Cosmin ŢICLEANU: 4; 5** (5.5; 5.6)

Partea II

Prof. univ. dr. ing. **Niculae MIRA: 1; 2; 3** (3.1; 3.2); **4; 5; 6; 7; 8** (8.4); **15**

Conf. univ. dr. ing. **Şerban LAZĂR: 3** (3.3; 3.4; 3.5)

Prof. univ. dr. ing. **Ovidiu CENTEA: 8** (8.1, 8.2, 8.3)

Ing. **Teodor HRISTEA: 10**

Ing. **Viorel Tuleş: 10** (10.4)

Ing. **Marian ILIESCU: 12**

Prof. univ. dr. ing. **Alexandru STAMATIU: 13; 14**

Ing. **Mihai POPOVICI**: 11

Ing. **Marius ŞMILOVICI**: **16**

Partea III

Prof. univ. dr. ing. **Constantin IONESCU**: **1; 2; 3; 4**

Prof. univ. dr. ing. **Nicolae ANTONESCU: 3** (3.3)

Conf. univ. dr. fizician: **Nicolae FLOREA: 3** (3.4)

Prof. univ. dr. ing.: **Sorin CALUIANU: 3** (3.7.1; 3.7.2)

Conf. univ. dr. ing.: **Sorin COCIORVA: 3** (3.7.4)

Partea IV

Prof. univ. dr. ing. **Constantin IONESCU**: **1; 2; 3; 4**

Prof. univ. dr. ing. **Sorin CALUIANU: 3** (3.3)

Conf. univ. dr. ing. **Nicolae IVAN: 5**

Conf. univ. dr. ing. **Daniel POPESCU: 3** (3.2.5); **6; 9**

Şef lucrări ing. **Dan IONESCU: 7**

Ing. **Marius ŞMILOVICI: 8**

Prof. univ. dr. ing. **Sorin LARIONESCU: 8.5**

Prof. univ. dr. ing. **Niculae MIRA: 9.5**

Coordonare şi recenzie ştiinţifică: Prof. onor. dr. ing. **Liviu DUMITRESCU**

Membru al Academiei Central Europene de Ştiinţă şi Artă;

Doctor Honoris Causa al UTC Bucureşti;

Doctor Honoris Causa al UP Timişoara;

Ing. **Achile PETRESCU**

Coordonare editorială: Director General ing. **Doru PETRESCU**

Director Marketing ing. **Mihai Mateescu**

Director Comercial ing. **Cristian Tudor**

Tipar: **ARTPRINT** Bucureşti, Str. Sulina 26, Tel: 021-3363633

ENCICLOPEDIA TEHNICĂ DE INSTALAŢII

MANUALUL DE INSTALAŢII

ISBN 978-973-85936-5-7

Instalaţii electrice şi de automatizare

ISBN 978-973-85936-9-5

© Editura **ARTECNO** Bucureşti S.R.L., 2010

Asociaţia Inginerilor de Instalaţii din România

CUPRINS

Probleme generale

1. Etapele de elaborare a documentației tehnico-economice necesare realizarii obiectivelor de investiții publice pentru instalații electrice și de automatizare 2
2. Încadrarea obiectivelor de investiții publice pentru instalațiile electrice, în sistemul de lucrări de alimentare cu energie electrică a localităților 7
3. Cerințe esențiale de calitate și criteriile de performanță pentru instalațiile electrice și de automatizare 7
4. Reglementări tehnice specifice pentru instalațiile electrice și de automatizare 7

I. SISTEME DE ILUMINAT

1. MĂRIMI FIZICE
   - 1.1. Mărimi fizice în sistemele de iluminat 10
2. RELAȚIA LUMINĂ-VEDERE
   - 2.1. Caracteristicile vederii umane 16
   - 2.2. Orbirea și efectele sale 18

3. MEDIUL LUMINOS CONFORTABIL
   - 3.1. Mediul luminos interior 20
     - 3.1.1. Aspecte cantitative 20
     - 3.1.2. Aspecte calitative 20
   - 3.2. Mediul luminos exterior 23
     - 3.2.1. Aspecte cantitative 23
     - 3.2.2. Aspecte calitative 23

4. SURSE ELECTRICE DE LUMINĂ
   - 4.1. Lămpi cu incandescență 26
     - 4.1.1. Lampa cu incandescență clasică (LIC) 26
     - 4.1.2. Lampa cu ciclu regenerator cu halogen (LIH) 27
   - 4.2. Lămpi fluorescente 29
     - 4.2.1. Lămpi fluorescente tubulare 29
     - 4.2.2. Lămpi fluorescente compacte 32
   - 4.3. Lămpi cu descărcare în vapori de sodiu la joasă presiune 33
   - 4.4. Lămpi cu descărcare în vapori de mercur la înaltă presiune 33
   - 4.5. Lămpi cu descărcărcare în vapori de sodiu de înaltă presiune 35
   - 4.6. Alte lămpi cu descărcare în gaze 35
     - 4.6.1. Lămpile cu descărcare la joasă presiune în gaze sau amestecuri de gaze și vapori metalici cu coloana luminoasă pozitivă 35
     - 4.6.2. Lămpile cu descărcare la joasă presiune în gazele menționate și lumina negativă 35
   - 4.7. Lămpi cu inducție 36
   - 4.8. Diode electroluminiscente (leduri) 36

5. APARATE DE ILUMINAT.
   - 5.1 Caracteristicile aparatelor de iluminat (AIL) 42
   - 5.2. Aparate pentru iluminatul interior 45
   - 5.3. Aparate pentru iluminatul exterior 46
   - 5.4. Aparate pentru iluminatul teatrelor/studiourilor 47
   - 5.5. Fibre și tuburi optice 49
   - 5.6. Tuburi de lumină 50
   - 5.7. Suprafețe luminoase sau luminate, arhitecturale 54
     - 5.7.1 Suprafețe luminoase 54
     - 5.7.2 Suprafețe luminate 55
   - 5.8. Montarea aparatelor de iluminat 56

6. SISTEME DE ILUMINAT INTERIOR
6.1. Sisteme de iluminat normal (SIL) ... 60
6.1.1. Sisteme de iluminat în funcție de distribuția spațială a fluxului luminos ... 60
6.1.2. Sisteme de iluminat în funcție de distribuția fluxului luminos / iluminării în planul util ... 61
6.2. Sisteme de iluminat de siguranță ... 63
6.2.1. Sisteme de iluminat pentru continuarea lucrului ... 64
6.2.2. Sisteme de iluminat pentru intervenții ... 64
6.2.3. Sisteme de iluminat pentru evacuare și alte funcțiuni ... 64
6.2.4. Aspecte caracteristice ale echipamentului sistemelor de iluminat de siguranță ... 66

7. CALCULUL SISTEMELOR DE ILUMINAT INTERIOR
7.1. Metode de calcul punctuale ... 68
7.1.1. Iluminarea directă, dată de surse de lumină punctuale ... 68
7.1.2. Iluminarea directă, dată de surse de lumină liniare ... 69
7.1.3. Iluminarea directă într-un punct, dată de surse luminoase (luminate) de suprafață perfect difuzante ... 71
7.1.4. Calculul iluminării medii directe pe o suprafață (metoda „punct cu punct") ... 72
7.2. Metode de calcul globale ... 72
7.2.1. Metoda interreflexiilor ... 72
7.2.2. Metoda factorului de utilizare ... 74
7.3. Calculul automat al sistemelor de iluminat interior ... 74

8. APRECIEREA CALITATIVĂ A SISTEMELOR DE ILUMINAT INTERIOR
8.1. Metoda curbelor de luminanță limită ... 76
8.2. Metoda UGR (CIE Unified Glare Rating System) ... 77
8.3. Metoda Ro ... 77

9. SISTEME DE ILUMINAT EXTERIOR
9.1. Sisteme de iluminat normal ... 80
9.2. Sisteme de iluminat de securitate (evacuare, pază) ... 81

10. CALCULUL SISTEMELOR DE ILUMINAT EXTERIOR
10.1. Calculul sistemelor de iluminat pentru căi de circulație ... 84
10.1.1. Calculul în funcție de luminanță ... 84
10.1.2. Calculul în funcție de iluminare ... 86
10.2. Calculul sistemelor de iluminat pentru alte arii ... 87
10.3. Calculul sistemelor de iluminat decorativ ... 87
10.4. Evaluarea calitativă a distribuției luminanțelor ... 88

11. PROIECTAREA SISTEMELOR DE ILUMINAT INTERIOR
11.1. Metodologia de proiectare ... 92
11.2. Tipuri și soluții de sisteme ... 93
11.2.1. Locuințe, hoteluri, moteluri ... 93
11.2.2. Încăperi destinate activității intelectuale ... 96
11.2.3. Spații comerciale ... 99
11.2.3.1 Sistemul de iluminat general ... 100
11.2.3.2 Sistemul general de iluminat pentru vitrine ... 100
11.2.3.3 Firmele luminoase ... 101
11.2.4. Instituții medicale ... 102
11.2.5. Muzee și galerii de artă ... 103
11.2.5.1 Culoarea luminii ... 104
11.2.5.2 Galeriile de pictură, tapiserii și alte exponate plane ... 105
11.2.5.3 Galeriile pentru sculptură ... 105
11.2.5.4 Muzee de istorie, numismatică, științe naturale și alte destinații ... 105
11.2.6. Săli de spectacole ... 106
11.2.7. Spații industriale ... 109

11.2.8. Săli de sport 112
11.3. Comanda manuală și automată a sistemelor de iluminat interior. Managementul în iluminat 114
11.3.1. Sisteme de control utilizate 115
11.3.2. Modul de abordare a controlului iluminării 115
11.3.3. Managementul în iluminat 116

12. PROIECTAREA SISTEMELOR DE ILUMINAT EXTERIOR
12.1. Metodologia de proiectare 118
12.2. Soluții de sisteme pentru iluminatul exterior 118
12.2.1. Căi de circulație rutieră 118
12.2.2. Tuneluri 123
12.2.3. Iluminatul decorativ arhitectural (monumente, clădiri) 127
12.2.4. Iluminatul decorativ pentru spații verzi, jocuri de apă 129
12.2.5. Arii utilitare 131
12.2.6. Iluminatul publicitar și de reclamă 131
12.2.7. Terenuri de sport 132
12.2.8. Gări, triaje, porturi, aeroporturi 135
12.3. Comanda manuală și automată a sistemelor de iluminat exterior 136

13. PUNEREA ÎN FUNCȚIUNE ȘI MENȚINEREA SISTEMELOR DE ILUMINAT
13.1. Punerea în funcțiune a sistemelor de iluminat 140
13.2. Menținerea sistemelor de iluminat 140
13.2.1. Estimări ale pierderilor de lumină 140
13.2.2. Menținerea sistemelor de iluminat interior 142
13.2.3. Menținerea sistemelor de iluminat exterior 142

II. INSTALAȚII ELECTRICE

1. RECEPTOARE ȘI CONSUMATORI
1.1. Receptoare electrice 144
1.2. Consumatori electrici 144

2. FENOMENE FIZICE PROPRII INSTALAȚIILOR ELECTRICE
2.1. Încălzirea conductelor în regim de lungă durată 146
- Exemple de calcul 146
2.2. Încălzirea conductelor în regim intermitent 147
- Exemple de calcul 148
2.3. Încălzirea conductelor în regim de scurtă durată 148
- Exemple de calcul 149
2.4. Solicitări electrodinamice. Calculul forțelor electrodinamice 149
2.5 Arcul electric în instalațiile electrice 150

3. FUNCȚIONĂRI ANORMALE ÎN INSTALAȚII ELECTRICE
3.1. Funcționarea cu tensiune crescută 156
3.2. Funcționarea cu tensiune scăzută (pierderi de tensiune) 157
- Exemplu de calcul 158
3.3. Pornirea motoarelor electrice 160
3.3.1. Pornirea motoarelor de curent continuu 160
- Exemplu de calcul 161
3.3.2. Pornirea motoarelor asincrone trifazate 162
- Exemplu de calcul 165
3.3.3. Pornirea motoarelor sincrone 166
3.4. Funcționarea motoarelor asincrone trifazate în două faze 167
3.5. Funcționarea în regim de scurtcircuit 167
3.5.1. Scurtcircuitul unui circuit monofazat 167
3.5.2. Scurtcircuitul unui circuit trifazat 168
- Exemplu de calcul 168

4. APARATE ELECTRICE
4.1. Aparate electrice de protecție ... 172
4.1 1. Relee termice ... 172
4.1.2. Relee cu termistoare ... 173
4.1.3. Relee electromagnetice ... 173
4.1.4. Siguranțe fuzibile ... 175
4.2. Aparate electrice de conectare ... 175
4.2.1. Întreruptoare de putere ... 175
4.2.2. Contactoare ... 176
4.2.3. Disjunctoare și disjunctoare diferențiale ... 177
4.2.4. Întreruptoare diferențiale ... 181
4.2.5. Chei de comandă și butoane ... 181
4.3. Aparate electrice de semnalizare ... 181
4.4. Aparate electrice de măsură ... 181
4.4.1. Aparate magnetoelectrice ... 181
4.4.2. Aparate feromagnetice ... 182
4.4.3. Aparate electrodinamice ... 182
4.4.4. Aparate de inducție ... 182
4.4.5. Măsurarea tensiunilor. Extinderea domeniului de măsurare ... 182
4.4.6. Măsurarea curenților. Extinderea domeniului de măsurare ... 183
4.4.7. Măsurarea energiilor activă și reactivă ... 184

5. ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A RECEPTOARELOR ȘI CONSUMATORILOR DE JOASĂ TENSIUNE
5.1. Scheme de alimentare pentru consumatori cu receptoare normale ... 190
5.2. Branșarea consumatorilor clasici la SEN ... 190
5.3. Alimentarea receptoarelor electrice normale cu energie electrică ... 192
5.4. Alimentarea receptoarelor electrice vitale (preferențiale și critice) ... 193

6. CALCULUL INSTALAȚIILOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE
6.1. Calculul curentului nominal pentru circuite și coloane ... 198
- Exemple de calcul ... 199
6.2. Alegerea secțiunii conductelor și cablurilor electrice ... 200
- Exemple de calcul ... 200
6.3. Alegerea tuburilor de protecție ... 202
6.4. Alegerea aparatelor de acționare, protecție și măsură ... 203
6.4.1. Alegerea întreruptorului manual ... 203
6.4.2. Alegerea contactorului ... 203
6.4.3. Algerea întreruptorului automat ... 204
6.4.4. Alegerea disjunctorului și disjunctorului diferențial ... 204
6.4.5. Alegerea releelor termice ... 205
- Exemplu de calcul ... 205
6.4.6. Alegerea siguranței fuzibile ... 205
- Exemplu de calcul ... 205
6.4.7. Alegerea aparatelor de măsură ce se montează pe tablourile electrice ... 206
6.5. Programe de proiectare a instalațiilor electrice de joasă tensiune ... 208

7. INSTALAȚII PENTRU PROTECȚIA OMULUI ÎMPOTRIVA TENSIUNILOR ACCIDENTALE DE ATINGERE
7.1. Probleme generale ... 234
7.2. Efectele curentului electric asupra corpului uman ... 234
7.3. Cazuri de electrocutare ... 235
7.4. Clasificarea încăperilor și receptoarelor din punct de vedere al pericolului de electrocutare ... 236
7.5. Metode de protecție (metode de bază) ... 237
7.5.1 Metode de protecție împotriva atingerilor directe ... 237
7.5.2 Metode de protecție împotriva atingerilor indirecte ... 237

8. INSTALAȚII DE PROTECȚIE A CLĂDIRILOR ÎMPOTRIVA EFECTELOR TRĂSNETELOR
8.1. Probleme generale 244
8.2. Cazuri în care echiparea cu instalație de protecție împotriva trăsnetelor este obligatorie 245
8.3. Instalații de paratrăsnet 246
8.3.1. Dispozitivele de captare 246
8.3.2. Conductoarele de coborâre 248
8.3.3. Priza de pământ 249
8.3.4. Legături echipotențiale 251
8.3.5. Legături de echipotențializare și bara de egalizare a potențialelor (BEP) 251
8.3.6. Instalații speciale de protecție împotriva trăsnetelor 251
8.3.7. Verificări ale instalațiilor de paratrăsnet 251
8.4. Protecția împotriva supratensiunilor și supracurenților tranzitorii 252

9. INSTALAȚII PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA FACTORULUI DE PUTERE LA CONSUMATORI
9.1. Probleme generale 260
9.2. Influențele negative determinate de micșorarea factorului de putere 260
9.3. Mijloace pentru creșterea factorului de putere 261
9.3.1. Creșterea factorului de putere prin mijloace naturale 262
9.3.2. Creșterea factorului de putere folosind surse specializate de putere reactivă 263
9.4. Calculul de eficiență tehnico-economică 267

10. INSTALAȚII DE SEMNALIZARE PENTRU TRANSMITEREA INFORMAȚIILOR
10.1. Instalații pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiului 270
10.1.1. Probleme generale 270
10.1.2. Metode și tehnologii pentru detecția incendiului 270
10.1.2.1. Detectoare de fum 270
10.1.2.2. Detecția ultrarapidă a fumului; detectoare specifice 272
10.1.2.3. Detectoare de temperatură 273
10.1.2.4. Detectoare de flacără 273
10.1.2.5. Detectoare de gaze 274
10.1.3. Centralizarea semnalizărilor în instalațiile pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiului 275
10.1.4. Alarmarea în instalațiile de detecție, semnalizare și stingere a incendiului 276
10.1.5. Stingerea automată a incendiului 277
10.1.5.1. Agenți de stingere 277
10.1.5.2. Tipuri de instalații 278
10.1.6. Proiectarea instalațiilor pentru detectarea, semnalizarea și stingerea incendiului 278
10.1.6.1. Dimensionarea supravegherii 278
10.1.6.2. Calculul rețelei de centralizare a semnalizărilor 279
10.1.6.3. Metode de reducere a alarmelor false 280
10.1.7. Exploatarea instalațiilor pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiului 280
10.2. Instalații pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii 281
10.2.1. Scopul și necesitatea instalațiilor pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii. Reglementări în vigoare 281
10.2.1.1 Domeniile de aplicație și funcțiile instalațiilor pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii 281
10.2.1.2 Reglementări legale în vigoare 282
10.2.2. Metode (tehnologii) de detecție a tentativelor de efracție 282
10.2.2.1 Detecția deschiderii ușilor 282
10.2.2.2 Detecția agresiunii 283
10.2.2.3 Detecția mișcării 283
10.2.2.4 Detecția tentativelor de spargere a geamurilor 285
10.2.2.5 Detecția tentativelor de penetrare a pereților 286
10.2.2.6 Detectoare tensometrice 286

10.2.2.7 Supravegherea vitrinelor 286
10.2.2.8 Supravegherea perimetrelor 287
10.2.3. Centralizarea semnalizărilor în instalațiile pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii 289
10.2.4. Topologii de instalații pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii 290
10.2.5. Avertizarea în instalațiile pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii 291
10.2.6. Proiectarea instalațiilor pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii 292
10.2.6.1 Dimensionarea supravegherii în vederea detecției efracției 292
10.2.6.2. Calculul rețelei de centralizare a semnalizărilor 293
10.2.6.3. Metode de reducere a alarmelor false 293
10.2.7. Exploatarea instalațiilor pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii 293
10.3. Instalații de control al accesului 294
10.3.1. Instalații de control și identificare 294
10.3.2. Interfoanele pentru imobil 294
10.3.3. Metode și tehnologii de identificare în instalațiile de control al accesului 295
10.3.3.1 Tehnologii de realizare a indentificatorilor 295
10.3.3.2 Metode biometrice de identificare 297
10.3.4. Echipamente pentru controlul fizic al accesului 298
10.3.5. Metode de control al accesului. Tipuri de instalații de control al accesului 301
10.3.6. Proiectare 302
10.3.7. Exploatarea instalațiilor de control al accesului 303
10.4. Sisteme video de supraveghere 304

11. POSTURI DE TRANSFORMARE ȘI SURSE DE REZERVĂ
11.1. Instalații pentru posturile de transformare 316
11.1.1. Alegerea numărului de transformatoare 316
11.1.2. Alegerea puterii transformatoarelor 316
11.1.3. Stabilirea puterii nominale economice pentru transformatoare 317
11.1.4. Funcționarea în paralel a transformatoarelor 318
11.1.5. Construcția transformatoarelor și caracteristici 318
11.1.6. Construcția posturilor de transformare 319
11.1.7. Aparatajul aferent transformatoarelor 320
11.2. Instalații pentru sursele de rezervă proprii 321
11.2.1. Grup electrogen 322
11.2.2. Baterii de acumulatoare 324

12. INSTALAȚII ELECTRICE ÎN MEDIU EXPLOZIV ȘI ÎN MEDIU CU PERICOL DE INCENDIU
12.1. Probleme generale 330
12.2. Clasificarea ariilor periculoase 330
12.3. Alegerea echipamentelor electrice 331
12.4. Montarea cablurilor electrice 332
12.4.1. Sisteme de instalare 332
12.4.2. Tipuri de cabluri utilizate în spații cu pericol de explozie 333
12.5. Instalația de paratrăsnet 334
12.6. Măsuri de protecție împotriva electricității statice 334

13. TEHNOLOGIA EXECUTĂRII INSTALAȚIILOR ELECTRICE
13.1. Soluții tehnologice pentru montarea cablurilor și conductelor 338
13.2. Soluții tehnologice pentru montarea aparatelor și tablourilor electrice 345
13.3. Norme referitoare la construcția tablourilor electrice 348

14. FIABILITATEA INSTALAȚIILOR ELECTRICE
14.1. Definiții 352
14.1.1. Noțiuni fundamentale 352
14.1.2. Alte noțiuni legate de fiabilitate 352
14.2. Evaluarea fiabilității 352
14.2.1. Evaluarea fiabilității în sens restrâns 352
14.2.2. Evaluarea mentenabilității 353
14.2.3. Evaluarea disponibilității 354
14.3. Metode, modele și procedee pentru determinarea fiabilității instalațiilor 354
14.3.1. Modelul structural pentru calculul fiabilității instalației 354
14.3.2. Ipoteze simplificatoare 355
14.3.3. Modelarea funcționării instalațiilor prin procese stocastice de tip Markov 356
- Exemple de calcul 357
14.3.4. Metoda elementelor echivalente din punct de vedere al fiabilității 358
14.3.5. Metoda soluției generale 358
14.3.6. Procedeul grupurilor de defectare 359
14.3.7. Alte metode 359
14.4. Ingineria fiabilității instalațiilor electrice cu scheme logice de tipul „α din n" 360
14.4.1. Cazul general 360
- Exemplu de calcul 360
14.4.2. Cazul $\alpha = n$ 361
- Exemplu de calcul 361
14.4.3. Cazul $\alpha = 1$; $n = 2$ 362
- Exemplu de calcul 362
14.4.4. Cazul $\alpha = 2$; $n = 3$ 362
14.5. Ingineria fiabilității instalațiilor electrice complexe 363
14.5.1. Relații de calcul aproximative 363
14.5.2. Teoreme de transfigurare 365
14.5.3. Aplicații 366

15. MĂSURI DE PROTECȚIE A OMULUI CE SE IAU ÎN EXECUȚIA ȘI EXPLOATAREA INSTALAȚIILOR ELECTRICE
15.1. Probleme generale 370
15.2. Condiții tehnice 370
15.3. Responsabilitățile pentru aplicarea normelor de protecție a muncii 370
15.4. Principalele mijloace de protecție electroizolante utilizate în instalațiile electrice de joasă tensiune 370
15.5. Măsuri tehnice de protecție a muncii la executarea de lucrări cu scoaterea de sub tensiune, în exploatarea instalațiilor electrice 371
15.6. Norme specifice de protecție a muncii pentru activități la instalațiile electrice de producere, transport și distribuție a energiei electrice 372
15.7. Măsuri de prim ajutor în caz de accidente 372

16. SIMBOLURI UTILIZATE ÎN SCHEME ȘI PLANURI 376

III. MĂSURĂRI

1. PRINCIPII, METODE ȘI MIJLOACE DE MĂSURARE 384

2. MĂSURAREA MĂRIMILOR ELECTRICE
2.1. Măsurarea tensiunii 386
2.2. Măsurarea intensității curentului electric 386
2.3. Măsurarea puterii 387
2.3.1. Măsurarea puterii în curent continuu 387
2.3.2. Măsurarea puterii active în curent alternativ 388
2.3.2.1 Măsurarea puterii active în curent alternativ monofazat 388
2.3.2.2 Măsurarea puterii active în curent alternativ trifazat 389
2.3.3. Măsurarea puterii reactive 390
2.3.3.1 Măsurarea puterii reactive în curent alternativ monofazat 390
2.3.3.2 Măsurarea puterii reactive în curent alternativ trifazat 391

2.4. Măsurarea energiei electrice 391
2.4.1. Măsurarea energiei electrice în curent continuu 392
2.4.2. Măsurarea energiei electrice active 392
2.4.3. Măsurarea energiei electrice reactive 393
2.4.4. Transmiterea la distanță a indicațiilor contoarelor de energie activă și reactivă 393
2.5. Măsurarea defazajului și a factorului de putere 393
2.5.1. Măsurarea cu aparate electrodinamice 393
2.5.1.1 Măsurarea la circuitele monofazate 393
2.5.1.2 Măsurarea la circuitele trifazate 394
2.5.2. Măsurarea cu aparate feromagnetice (electromagnetice) 394
2.5.3. Măsurarea cu aparate tip cleşte ampermetric 394
2.5.4. Măsurarea unghiului de defazaj dintre două tensiuni cu osciloscopul 395
2.5.5. Măsurarea cu aparate cu elemente statice 395
- Exemple de calcul 395
2.5.6. Măsurarea indirectă 395
2.6. Măsurarea frecvenței 396
2.6.1. Metode de punte 396
2.6.2. Metode de comparație 397
2.6.3. Metode de rezonanță 397
2.6.4. Filtru trece bandă 397
2.6.5. Multimetre 398
2.7. Aparate de măsurat numerice 398
2.7.1. Elemente componente 398
2.7.1.1 Circuite basculante bistabile CBB 398
2.7.1.2 Numărătoare binare NB 400
2.7.1.3 Decodificatoare D 401
2.7.1.4 Sisteme de afișare A 401
2.7.1.5 Convertoare 403
2.7.2. Voltmetre și ampermetre numerice 404
2.7.3. Puntea automată cu afișare numerică 405
2.7.4. Frecvențmetre și cronometre 405
2.7.5. Fazmetru numeric 405
2.8. Aparate înregistratoare 406

3. MĂSURAREA MĂRIMILOR NEELECTRICE
3.1. Măsurarea mărimilor mecanice 410
3.1.1. Măsurarea maselor și forțelor 410
3.1.2. Măsurarea cuplurilor 410
3.1.3. Măsurarea vitezelor liniare 411
3.1.4. Măsurarea vitezelor unghiulare 411
3.2. Măsurarea mărimilor hidraulice 411
3.2.1 Măsurarea presiunii 411
3.2.2 Măsurarea nivelului 411
3.2.3 Măsurarea vitezei 412
3.2.4 Măsurarea debitului 413
3.2.5 Detecția scurgerilor din conducte 413
3.3. Măsurarea mărimilor termotehnice 414
3.3.1. Măsurarea temperaturii 414
3.3.2. Măsurarea cantității de căldură 414
3.3.3. Măsurarea umidității relative (UR) a aerului 414
3.3.4. Măsurarea vitezei aerului 414
3.3.5. Concentrația componentelor din gazele de ardere 415
3.4. Măsurarea radiațiilor nucleare 415
3.4.1. Detectarea radiațiilor nucleare 415
3.4.2. Măsurarea radiațiilor nucleare 416
3.5. Măsurări în iluminat 416
3.5.1. Măsurări obiective 416

3.5.2. Măsurări subiective 417
3.6. Măsurarea pH-ului 417
3.6.1. Domeniul 417
3.6.2. Principiul de măsurare a pH-ului 418
3.7. Măsurări privind poluarea atmosferei 418
3.7.1. Măsurarea concentrațiilor de gaze combustibile în atmosferă 418
3.7.1.1 Măsurarea intensității relative de absorbție a radiației IR 419
3.7.1.2 Măsurarea absorbției în două benzi de undă în IR 419
3.7.1.3 Senzorul catalitic de gaze combustibile 419
3.7.1.4 Microsenzori de gaz cu bioxid de staniu 420
3.7.2. Măsurarea concentrației de gaze toxice în atmosferă 420
3.7.2.1 Măsurarea pe baza proprietăților de radiație specifice 420
3.7.2.2 Senzorul electrochimic de gaze toxice 421
3.7.3. Măsurarea concentrației de praf și aerosoli în atmosferă 421
3.7.4. Rețele de microsenzori de gaz 421
3.7.4.1 Nasul electronic 421
3.7.4.2 Rețele de microsenzori de gaz 421
3.7.4.3 Rețele neuronale artificiale 422
3.7.5. Sisteme inteligente de monitorizare a calității atmosferei 423

4. MĂSURĂRI COMPLEXE 426

IV. AUTOMATIZĂRI

1. PROBLEME GENERALE
1.1. Definiții 430
1.2. Funcțiunile sistemelor automate 430
1.3. Clasificarea sistemelor automate 430
1.4. Problemele sistemelor automate 430
1.5. Semnale utilizate în automatică 430
1.6. Transformata Laplace 431
1.7. Funcția de transfer a funcției original h(t) 431
1.8. Funcția indicială și funcția pondere 433
1.9. Sistem de urmărire a poziției unghiulare 433

2. ELEMENTE DE AUTOMATIZARE
2.1. Traductoare 436
2.2. Elemente de comandă. Convertoare 438
2.3. Regulatoare 439
2.4. Elemente de execuție 446

3 SISTEME DE COMANDĂ AUTOMATĂ
3.1. Comanda instalațiilor de iluminat 448
3.1.1. Instalații de iluminat interior 448
3.1.2. Instalații de iluminat exterior 448450
3.2. Comanda motoarelor electrice 450
3.2.1. Comanda motoarelor electrice asincrone trifazate 450
3.2.1.1 Comanda motoarelor electrice asincrone trifazate cu rotorul în colivie 450
3.2.1.2 Comanda motoarelor electrice asincrone trifazate cu rotorul bobinat 455
3.2.1.3 Comanda frânării motoarelor electrice 458
3.2.2. Comanda motoarelor electrice sincrone 459
3.2.3. Comanda motoarelor de curent continuu 460
3.2.4. Comanda cu program a motoarelor electrice 462
3.2.5. Automate programabile 462
3.3. Comanda automatizată utilizând logica fuzzy 463
3.3.1. Generalități 463
3.3.2. Caracteristicile comenzii fuzzy 463
3.3.3. Configurația generală a unui controler fuzzy 464

4. REGLAREA AUTOMATĂ A PARAMETRILOR
4.1. Reglarea presiunii 466
4.2. Reglarea debitului 468
4.3. Reglarea raportului gaz - aer 469
4.4. Reglarea temperaturii 470
4.5. Reglarea umidității 470
4.6. Reglarea pH-ului 470
4.7. Reglarea fluxului luminos 471
4.8. Reglarea turației 471
4.9. Acordarea regulatoarelor 473

5. AUTOMATIZAREA INSTALAȚIILOR HIDRAULICE
5.1. Generalități 476
5.2. Automatizarea stațiilor de pompare în funcție de presiune 476
5.3. Automatizarea stațiilor de pompare în funcție de presiune, cu presiunea etajată descrescător 476
5.4. Automatizarea stațiilor de pompare în funcție de presiune, cu presiunea etajată crescător 477
5.5. Automatizarea stațiilor de pompare în funcție de presiune și debit 478

6. AUTOMATIZAREA INSTALAȚIILOR TERMICE
6.1. Automatizarea punctelor termice (PT) 482
6.1.1. Organizarea ierarhică a sistemului de conducere și supraveghere a PT 483
6.1.2. Funcționarea sistemului de automatizare a unui PT 483
6.1.3. Funcționarea sistemului de achiziție și monitorizare a datelor din PT 483
6.1.4. Sistemul de citire automată a datelor provenite de la contoarele montate la scări de blocuri 484
6.2. Automatizarea centralelor termice 485
6.2.1. Reglarea automată a temperaturii apei din boiler 485
6.2.2. Variante de automatizare folosite în centralele termice 485
6.2.2.1. Automatizarea minimală a cazanelor 485
6.2.2.2. Reglarea temperaturii interioare cu termostat de cameră 485
6.2.2.3. Reglarea temperaturii interioare cu termostat de cameră și reglarea temperaturii apei calde cu termostat de boiler 486
6.2.2.4. Reglarea temperaturii interioare cu termostat de cameră și reglarea temperaturii apei calde cu termostat de boiler. Prioritate apă caldă menajeră. Cronotermostat. 486
6.2.2.5. Reglarea temperaturii agentului termic într-un circuit de încălzire direct folosind graficele de reglare 487
6.2.2.6. Reglarea temperaturii agentului termic folosind graficele de reglare și reglarea temperaturii apei calde menajere. Circuite directe independente de încălzire și de apă caldă 487
6.2.2.7. Reglarea temperaturii agentului termic folosind graficele de reglare, traductor de temperatură ambiantă și reglarea temperaturii apei calde menajere. Circuite directe independente de încălzire și de apă caldă 487
6.2.2.8. Reglarea temperaturii agentului termic folosind graficele de reglare și reglarea temperaturii apei calde menajere. Circuite independente de încălzire cu robinete de amestec și circuit direct pentru prepararea apei calde 488
6.2.2.9. Conducerea automată a unei centrale termice cu cazane în cascadă, cu trei circuite pentru încălzire și cu un circuit pentru prepararea apei calde menajere 489
6.2.3. Automatizarea instalațiilor de încălzire centrală de tip individual 492
6.2.3.1. Cazanul este amplasat pe perete 492
6.2.3.2. Cazanul este amplasat pe sol 493
6.2.4. Analiza sistemului automat de conducere a cazanelor în cascadă 494
6.3. Automatizarea instalațiilor solare 495
6.3.1. Generalități 495
6.3.2. Instalații solare la care necesarul de căldură este acoperit integral de la soare 496
6.3.2.1. Prepararea a.c.m. cu un câmp de captatoare solare și un boiler solar 496
6.3.2.2. Prepararea a.c.m. cu un câmp de captatoare solare și două boilere 497

6.3.2.3. Prepararea a.c.m. cu ajutorul a două câmpuri de captatoare solare şi un robinet de reglare cu trei căi 498
6.3.2.4. Prepararea a.c.m. cu ajutorul a două câmpuri de captatoare solare şi două pompe de circulaţie 499
6.3.2.5. Prepararea a.c.m. folosind două instalaţii de încălzire conduse de un regulator solar 499
6.3.3. Instalaţii solare la care necesarul de căldură nu este acoperit integral de la soare 499
6.3.3.1. Instalaţie solară cu susţinerea preparării apei calde menajere 499
6.3.3.2. Instalaţie solară cu susţinerea încălzirii şi a preparării apei calde menajere 499
6.3.3.3. Instalaţie solară care încălzeşte piscina şi susţine încălzirea clădirii şi prepararea apei calde menajere 501

7. AUTOMATIZAREA INSTALAŢIILOR DE VENTILARE - CLIMATIZARE 504

8. ANCLANŞAREA AUTOMATĂ A SURSELOR DE REZERVĂ
8.1. Anclanşarea automată a rezervei (AAR) 508
8.2. Conectarea automată a rezervei tehnologice 513
8.3. Descărcarea automată a sarcinii (DAS) şi reanclanşarea automată a sarcinii (RAS) 514
8.4. Automatizarea bateriilor de condensatoare 516
8.5. Programarea unui automat pentru anclanşarea rezervei 517

9. SISTEME DOMOTICE
9.1. Tehnologia informaţiei (IT) pentru Clădiri Inteligente şi domotică 522
9.1.1. Activităţi de dezvoltare 522
9.1.2. Concepte de modelare pentru clădirile inteligente 522
9.1.3.Standarde utilizate
9.2. Proiectarea sistemelor domotice 522
9.3. Sistemul EHS (European Home System) 523
9.4. Principii, tehnici şi modele pentru comunicaţia în sistemele domotice 524
9.5. Structura sistemelor domotice, magistrale, reţele şi standarde de comunicaţie 524
9.6. Sisteme domotice specializate 526
9.7. Sistem integrat pentru conducerea ierarhizată a instalaţiilor din clădiri 527
9.7.1. Sistem ierarhizat pentru conducerea unei instalaţii de încălzire 528
9.7.2. Sistem ierarhizat pentru asigurarea şi monitorizarea serviciilor în camerele unui hotel 528
9.7.3. Sistem ierarhizat pentru supraveghere şi alarmare la incendii 529

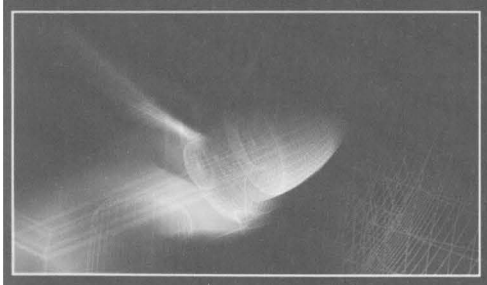
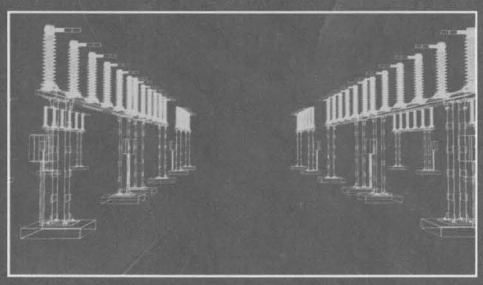
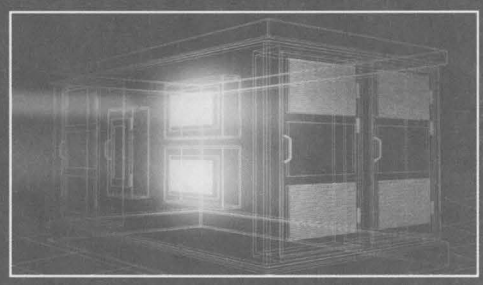
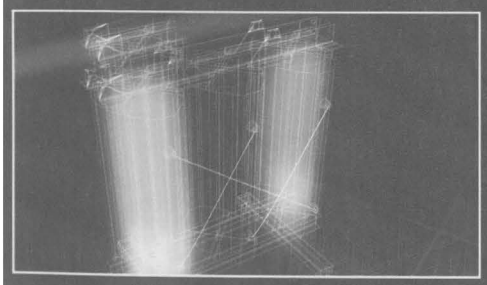
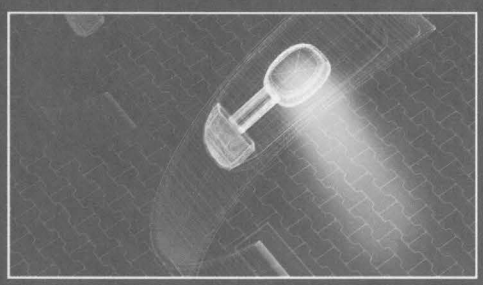
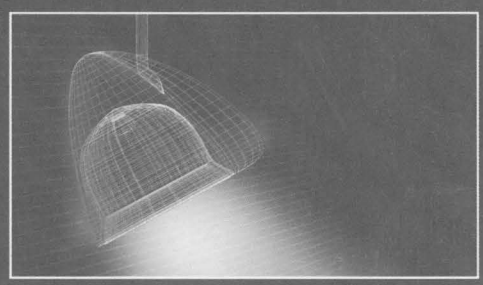
V. EFICIENŢA ENERGETICĂ

1. METODOLOGIA DE CALCUL A PERFORMANŢEI ENERGETICE A INSTALAŢIILOR DE ILUMINAT
1.1. Generalităţi 532
1.2. Terminologie, simboluri şi notaţii 532
1.3. Calculul energiei electrice anuale utilizată pentru iluminat 532
1.3.1. Metoda complexă 533
1.3.2. Metoda simplificată 533
1.3.3. Aprecierea corectă a performanţei energetice 533
1.4 Recomandări privind reabilitarea sistemelor de iluminat din punct de vedere energetic cu respectarea condiţiilor de confort vizual 534
1.4.1 Alegerea sursei de lumină 534
1.4.2 Alegerea aparatului de iluminat 534
1.4.3 Alegerea aparatajului auxiliar 534
1.5 Alegerea echipamentelor electrice din punct de vedere al performanţei energetice 535
1.5.1 Alegerea sursei de lumină 535
1.5.2 Alegerea aparatului de iluminat 535
1.5.3 Alegerea aparatajului auxiliar 535
1.6 Sisteme de iluminat artificial 536
1.7 Sistemul integrat de iluminat artificial şi natural 537
1.7.1 Controlul sistemului de iluminat în funcţie de timpul de utilizare al încăperii 537
1.7.2 Controlul sistemului de iluminat în funcţie de accesul luminii naturale 537
1.7.3 Controlul mixt al sistemului de iluminat în funcţie de timpul de utilizare al încăperii şi de accesul luminii naturale 538

GROUP

EnergoBit

soluția completă în electricitate

antreprenoriat general de lucrări instalații electrice • proiectare și execuție lucrări electrice în parcuri eoliene • producție echipamente electrice de MT și JT • audit energetic • eficiență energetică • proiectare instalații electrice • iluminat exterior • iluminat interior

www.energobit.com

Specialistul mondial în managementul energiei

Companie specializată la nivel global în managementul energiei, cu operațiuni în peste 100 de țări, Schneider Electric oferă soluții integrate pentru diverse segmente de piață, deținând poziții de lider în domeniul energiei și al infrastructurii, al proceselor industriale, automatizărilor în construcții și al centrelor de date sau rețelelor. Cei 114.000 de angajați ai companiei lucrează pentru a face energia sigură, de încredere și eficientă, ajutând indivizii și organizațiile „să profite la maxim de resursele energetice".

www.schneider-electric.ro


Schneider
Electric

ETI







PIMEX ELECTRICE S.R.L.,
reprezentant unic al renumitului producător de siguranțe fuzibile și întrerupătoare automate de protecție, ETI din Slovenia, vă oferă o gamă largă de produse de înaltă calitate la cele mai avantajoase prețuri:

- siguranțe fuzibile de joasă și medie tensiune,
- întrerupătoare automate,
- întrerupătoare cu protecție diferențială și multe altele.

Str. Doina 17A, Sector 5, București
Tel: 021.3171743, 021.4560194
Tel/fax: 021.4248383
e-mail: eti.electrice@gmail.com
www.eti.si

ROMÂNIA anul XVII 1/2010
Electricianul
ILUMINAT, INSTALAȚII ELECTRICE, AUTOMATIZĂRI



SECUNDE PREȚIOASE CARE VĂ POT SALVA VIAȚA
AVERTIZORUL SEISMIC CU CONTACT ELECTRIC
www.seisme.ro

+ Vă anunță cu 20...30 s înainte de sosirea undei de șoc seismic
+ Vă dă răgazul de a vă pune la adăpost familia
+ Dă comanda de închidere a gazului, evită incendii / explozii
+ Contact ND, poate fi utilizat în orice circuit de comandă



+ fără abonament
+ dimensiuni reduse
+ montare simplă
+ 4 baterii 1,5V
+ garanție extinsă
+ satisfăcut sau rambursat

Închide gazul
Difuzează instrucțiuni de securitate
Întrerupe curentul
Alte aplicații

De unde cumpărați: SC AREXMAN SRL
Str. Țepeș Vodă nr. 148, sector 2 (în spatele BCR Mihai Bravu) : tel. 021 323 85 82 / fax: 031 815 03 94

I. Sisteme de iluminat

Probleme generale

1. Etapele de elaborare a documentației tehnico-economice necesare realizării obiectivelor de investiții publice pentru instalații electrice și de automatizare

Conținutul cadru al proiectelor - pe faze de proiectare - este reglementat prin Ordinul Comun Nr. 1013/873/2001 al Ministerului Finanțelor și al Ministerului Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului. Prin acest ordin este reglementat conținutul cadru al documentațiilor de licitație, al ofertelor și al contractelor pentru execuția investițiilor.

Pentru realizarea unei investiții de către un investitor din punct de vedere al proiectării, este necesară parcurgerea următoarelor etape:
- studiul de prefezabilitate;
- studiul de fezabilitate;
- proiectul tehnic (PT) și caietele de sarcini;
- documentația cu detalii de execuție (DDE);

Documentațiile tehnicoeconomice de investiții publice pentru instalații electrice și de automatizare se elaborează pe baza datelor cuprinse în tema de proiectare.

1.1. Modul de atribuire a contractelor de concesiune a lucrărilor publice pentru instalații

1.1.1. Modul de atribuire a contractelor de concesiune a lucrărilor publice pentru instalațiile electrice din clădiri și instalațiile de alimentare cu energie electrică

Pentru atribuirea contractelor de concesiune de lucrări publice, în conformitate cu Ordonanța de Urgență a Guvernului nr. 34 din 19.04.2006, se elaborează documentația de atribuire. Ordonanța de Urgență a Guvernului nr. 34 se aplică și contractelor de achiziție publică precum și a contractelor de concesii de servicii și se aplică din 4 octombrie 2007.

Procedurile de atribuire constau în: licitație deschisă, licitație restrânsă, dialog competitiv, negociere cu publicarea prealabilă a unui anunț de participare, negociere fără publicarea prealabilă a unui anunț de participare și cerere de ofertă.

Prin Hotărârea de Guvern nr. 925 din 19.07.2006 s-au aprobat normele de aplicare a prevederilor referitoare la atribuirea contractelor de achiziție publică din Ordonanța de Urgență a Guvernului nr. 34/2006.

1.1.2. Reguli de elaborare a documentației de atribuire

Autoritatea contractantă are obigația de a preciza, în cadrul documentației de atribuire, orice cerință, criteriu, regulă sau alte informații necesare pentru a asigura ofertantului/candidatului o informare completă, corectă și explicită cu privire la modul de aplicare a procedurii de atribuire.

Documentația de atribuire trebuie să cuprindă printre altele și caietul de sarcini sau documentația descriptivă, aceasta din urmă fiind utilizată în cazul aplicării procedurii de dialog competitiv sau de negociere.

1.1.3. Caietul de sarcini conține, în mod obligatoriu, specificații tehnice

a. Specificațiile tehnice reprezintă cerințe, prescripții, caracteristici de natură tehnică ce permit fiecărui produs, serviciu sau lucrare să fie descris, în mod obiectiv, în așa manieră încât să corespundă necesității autorității contractante.

b. Specificațiile tehnice definesc caracteristici referitoare la nivelul calitativ, tehnic și de performanță, cerințe privind impactul asupra mediului înconjurător, siguranța în exploatare, dimensiuni, terminologie, simboluri, teste și metode de testare, instrucțiuni de utilizare, tehnologii și metode de producție, precum și sisteme de asigurare a calității și condiții pentru certificarea conformității cu standarde relevante sau altele asemenea. În cazul contractelor pentru lucrări, specificațiile tehnice pot face referire, de asemenea, și la prescripții de proiectare și de calcul al costurilor, la verificarea, inspecția și condițiile de recepție a lucrărilor sau a tehnicilor, procedeelor și metodelor de execuție, ca și la orice alte condiții cu caracter tehnic pe care autoritatea contractantă este capabilă să le descrie, în funcție și de diverse acte normative și reglementări generale sau specifice, în legătură cu lucrările finalizate și cu materialele sau alte elemente componente ale acestor lucrări.

c. Specificațiile tehnice se definesc astfel încât să corespundă, atunci când este posibil, necesităților/exigențelor oricărui utilizator, inclusiv ale persoanelor cu dizabilități.

d. Specificațiile tehnice trebuie să permită oricărui ofertant accesul egal la procedura de atribuire și nu trebuie să aibă ca efect introducerea unor obstacole nejustificate de natură să restrângă concurența între operatorii economici.

e. Fără a aduce atingere reglementărilor tehnice naționale obligatorii, în măsura în care acestea sunt compatibile cu dreptul comunitar, autoritatea contractantă are obligația de a defini specificațiile tehnice:
- fie prin referire, de regulă în următoarea ordine de prioritate, la standarde naționale care adoptă standarde europene, la omologări tehnice europene, la standarde internaționale sau la alte referințe de natură tehnică elaborate de organisme de standardizare europene; în cazul în care acestea nu există, atunci specificațiile tehnice se definesc prin referire la alte standarde, omologări sau reglementări tehnice naționale privind utilizarea produselor sau proiectarea, calculul și execuția lucrărilor. Orice astfel de referire trebuie să fie însoțită de mențiune sau echivalent;
- fie prin precizarea performanțelor și/sau cerințelor funcționale solicitate, care trebuie să fie suficient de precis descrise încât să permită ofertanților să determine obiectul contractului de achiziție publică, iar autorității contractante să atribuie contractul respectiv;
- fie atât prin precizarea performanțelor și/sau cerințelor funcționale solicitate, astfel cum sunt acestea prevăzute la punctul b, cât și prin referirea la standardele, omologările tehnice, specificațiile tehnice comune, prevăzute la punctul a, ca mijloc de prezumție a conformității cu nivelul de performanță și cu cerințele funcționale respective;
- fie prin precizarea performanțelor și/sau cerințelor funcționale solicitate, astfel cum sunt acestea prevăzute la punctul b, pentru anumite caracteristici, și prin referirea la standardele sau omologările tehnice, prevăzute la punctul a, pentru alte caracteristici.

f. În cazul în care autoritatea contractantă definește specificațiile tehnice din caietul de sarcini, optând pentru modalitatea prevăzută la punctul e, al. 1, atunci nici o ofertă nu poate fi respinsă pe motiv că produsele sau serviciile prevăzute în propunerea tehnică nu sunt conforme cu specificațiile precizate, dacă ofertantul demonstrează, prin orice mijloc adecvat, că propunerea tehnică prezentată satisface într-o manieră echivalentă cerințele autorității contractante definite prin specificațiile tehnice.

g. În cazul în care autoritatea contractantă definește specificațiile tehnice din caietul de sarcini prin precizarea performanțelor și/sau cerințelor funcționale solicitate, atunci nici o ofertă nu poate fi respinsă dacă ofertantul demonstrează prin orice mijloc adecvat că produsele, serviciile sau lucrările oferite asigură îndeplinirea

performanțelor sau cerințelor funcționale solicitate deoarece sunt conforme cu:
- un standard național care adoptă un standard european;
- o omologare tehnică europeană;
- o specificație tehnică comună utilizată în Comunitatea Europeană;
- un standard internațional;
- alte reglementări tehnice elaborate de organisme de standardizare europene.

h. În sensul prevederilor punctelor 6 și 7, un mijloc adecvat de a dovedi conformitatea cu specificațiile tehnice solicitate îl poate reprezenta dosarul tehnic al producătorului sau un raport de încercare/testare emis de un organism recunoscut, cum ar fi, după caz, un laborator neutru de încercări și calibrare sau un organism de certificare și inspecție care asigură respectarea standardelor europene aplicabile, autoritatea contractantă are obligația de a accepta certificate emise de organisme recunoscute în oricare dintre statele membre ale Uniunii Europene.

i. Performanțele și cerințele funcționale prin care se definesc specificațiile tehnice, pot include și caracteristici de mediu. În cazul în care autoritatea contractantă solicită îndeplinirea anumitor caracteristici de mediu în ceea ce privește performanțele și cerințele funcționale, atunci aceasta are dreptul de a utiliza, integral sau parțial, specificații definite prin „etichete ecologice" europene, (multi)naționale sau prin orice alte „etichete ecologice", dacă se îndeplinesc, în mod cumulativ următoarele condiții:
- specificațiile respective sunt adecvate pentru definirea caracteristicilor produselor sau serviciilor a căror furnizare/prestare reprezintă obiect al contractului de achiziție publică;
- cerințele pentru „eticheta ecologică" au fost elaborate pe baze științifice;
- „eticheta ecologică" a fost adoptată printr-o procedură specifică ce a permis implicarea tuturor părților interesate - organisme guvernamentale, consumatori, producători, distribuitori, organizații de mediu;
- „eticheta ecologică" este accesibilă/disponibilă oricărei persoane interesate.

Autoritatea contractantă are dreptul de a preciza în caietul de sarcini faptul că produsele sau serviciile oferite care dețin o anumită „etichetă ecologică" sunt considerate că îndeplinesc implicit specificațiile tehnice solicitate. Pe de altă parte, autoritatea contractantă nu are dreptul de a considera o propunere de ordin tehnic ca fiind neconformă, pentru singurul motiv că produsele sau serviciile ofertate nu dețin „eticheta ecologică" precizată, dacă ofertantul demonstrează, prin orice mijloc adecvat că produsele/serviciile oferite corespund specificațiilor tehnice solicitate.

Un mijloc adecvat de a dovedi conformitatea cu specificațiile tehnice solicitate îl poate reprezenta dosarul tehnic al producătorului sau un raport de încercare/testare emis de un organism recunoscut, autoritatea contractantă are obligația de a accepta certificate emise de organisme recunoscute în oricare dintre statele membre ale Uniunii Europene.

k. Se interzice definirea în caietul de sarcini a unor specificații tehnice care indică o anumită origine, sursă, producție, un procedeu special, o marcă de fabrică sau de comerț, un brevet de invenție, o licență de fabricație, care au ca efect favorizarea sau eliminarea anumitor operatori economici sau a unor produse. Prin derogare, se admite o astfel de indicație, dar numai în mod excepțional, în situația în care o descriere suficient de precisă și inteligibilă a obiectului contractului nu este posibilă și numai însoțită de mențiunea „sau echivalent".

l. Autoritatea contractantă are dreptul de a impune în cadrul documentației de atribuire, în măsura în care acestea sunt compatibile cu dreptul comunitar, condiții speciale de îndeplinire a contractului prin care se urmărește obținerea unor efecte de ordin social sau în legătură cu protecția mediului și promovarea dezvoltării durabile.

m. Autoritatea contractantă are obligația de a asigura obținerea documentației de atribuire de către orice operator economic interesat care înaintează o solicitare în acest sens.

1.2. Fazele de elaborare a documentației tehnico-economice pentru instalațiile electrice

Prin Hotărârea de Guvern nr. 28/09/01/2008, s-a aprobat conținutul-cadru al documentațiilor tehnico-economice aferente investițiilor publice. Prevederile hotărârii se aplică pentru realizarea obiectivelor de investiții noi, precum și lucrărilor de investiții la construcții existente care se finanțează din bugetele prevăzute conform Legii privind finanțele publice și Legii privind finanțele publice locale, cu modificările și completările ulterioare.

Proiectarea lucrărilor de construcții pentru obiective de investiții noi, inclusiv extinderi, se elaborează în trei faze și anume:
- studiul de fezabilitate;
- proiectul tehnic;
- detalii de execuție.

Proiectarea lucrărilor de construcții pentru investiții la construcții existente, inclusiv instalațiile aferente, se elaborează în patru faze și anume:
- expertiză tehnică și, după caz, audit energetic;
- documentație de avizare a lucrărilor de intervenții;
- proiectul tehnic;
- detalii de execuție.

Pentru obiectivele de investiții noi, inclusiv extinderi, ale căror documentații tehnico-economice intră în competența de apobare a Guvernului, se elaborează un studiu de prefezabilitate anterior elaborării studiului de fezabilitate.

Documentația de avizare pentru lucrări de intervenții este definită ca documentație tehnico-economică similară studiului de fezabilitate, elaborată pe baza concluziilor raportului de expertiză tehnică și, după caz, ale raportului de audit energetic, pentru aprobarea indicatorilor tehnico-economici aferenți lucrărilor de intervenții la construcții existente.

Lucrările de intervenții sunt lucrările la construcții existente, inclusiv instalațiile aferente, asimilate obiectivelor de investiții, care constau în: reparații capitale, transformări, modificări, modernizări, consolidări, reabilitări termice, precum și lucrări de intervenții pentru prevenirea sau înlăturarea efectelor produse de acțiuni accidentale și calamități naturale, efectuate în scopul asigurării cerințelor esențiale de calitate și funcționale ale construcțiilor, potrivit destinației lor.

Pentru aplicarea unitară a prevederilor hotărârii, Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice și Locuințelor, cu avizul Ministerului Economiei și Finanțelor, poate emite instrucțiuni care se aprobă prin ordin al ministrului.

1.2.1. Conținutul-cadru al studiului de prefezabilitate

1.2.1.1. Piesele scrise

a. Date generale
- denumirea obiectivului de investiții;
- amplasamantul (județul, localitatea, strada, numărul);
- titularul investiției;
- beneficiarul investiției;
- elaboratorul studiului.

b. Necesitatea și oportunitatea investiției
- Necesitatea investiției:
- scurtă prezentare privind situația existentă, din care să rezulte necesitatea investiției;
- tabele, hărți, grafice, planșe desenate, fotografii etc, care să exemplifice situația existentă și necesitatea investiției;

- deficiențele majore ale situației actuale privind necesarul de dezvoltare a zonei;
- prognoze pe termen mediu și lung.

• Oportunitatea investiției:
- încadrarea obiectivului în politicile de investiții generale, sectoriale sau regionale;
- actele legislative care reglementează domeniul investiției , după caz;
- acorduri internaționale ale statului care obligă partea română la realizarea investiției, după caz.

c. Scenariile tehnico-economice prin care obiectivele proiectului de investiții pot fi atinse:
- scenarii propuse (minimum două);
- scenariul recomandat de către elaborator;
- avantajele scenariului recomandat.

d. Date privind amplasamentul și terenul pe care urmează să se amplaseze obiectivul de investiție

• Informații despre terenul din amplasament:
- situația juridică privind proprietatea asupra terenului care urmează a fi ocupat - definitiv și/sau temporar de obiectivul de investiții;
- suprafața estimată a terenului;
- caracteristicile geofizice ale terenului din amplasament determinate în baza studiului geotehnic realizat special pentru obiectivul de investiții privind:

• zona seismică de calcul și perioada de colț;
• datele preliminare asupra naturii terenului de fundare și presiunea convențională;
• nivelul maxim al apelor freatice;
- studiile topografice preliminare;
- datele climatice ale zonei în care este situat amplasamentul.

e. Costul estimativ al investiției

Cheltuieli pentru elaborarea documentației tehnico-economice:
- cheltuieli pentru elaborarea documentațiilor de proiectare (studiu de prefezabilitate, studiu de fezabilitate, expertiză tehnică, proiect tehnic și detalii de execuție), după caz;
- cheltuieli pentru activitatea de consultanță și asistență tehnică;
- cheltuieli pentru obținerea avizelor și acordurilor de principiu necesare elaborării studiului de prefezabilitate;
- cheltuieli pentru pregătirea documentelor privind aplicarea procedurii pentru atribuirea contractului de lucrări și a contractului de servicii de proiectare, urbanism, inginerie, alte servicii tehnice, conform prevederilor legale (instrucțiuni pentru ofertanți, publicitate, onorarii și cheltuieli de deplasare etc).

Valoarea totală estimată a investiției

h. Avize și acorduri de principiu, după caz

Piese desenate:
- plan de amplasare în zonă (1:25000 - 1:5000);
- plan general (1:2000 - 1:500).

1.2.2. Conținutul-cadru al studiului de fezabilitate

1.2.2.1. Piese scrise

a. Date generale sunt aceleași ca la studiul de prefezabilitate

b. Informații generale privind proiectul:
- situația actuală și informații despre entitatea responsabilă cu implementarea proiectului;
- descrierea investiției
  • concluziile studiului de prefezabilitate sau ale planului detaliat de investiții pe termen lung (în cazul în care au fost elaborate în prealabil) privind situația actuală, necesitatea și oportunitatea promovării investiției, precum și scenariul tehnico-economic selectat;
  • scenariile tehnico-economice prin care obiectivele proiectului de investiții pot fi atinse (în cazul în care, anterior studiului de fezabilitate, nu a fost elaborat un studiu de prefezabilitate sau un plan detaliat de investiții pe termen lung):
  - scenarii propuse (minimum două);
  - scenariul recomandat de către elaborator;
  - avantajele scenariului recomandat;
  • descrierea constructivă, funcțională și tehnologică, după caz.

c. Date tehnice ale investiției:
- zona și amplasamentul;
- statutul juridic al terenului care urmează să fie ocupat;
- situația ocupărilor definitive de teren: suprafața totală, reprezentând terenuri din intravilan/extravilan;
- studii de teren:
  • studii topografice cuprinzând planuri topografice cu amplasamentele reperelor, liste cu repere în sistem de referință național;
  • studiu geotehnic cuprinzând planuri cu amplasamentul forajelor, fișele complexe cu rezultatele determinărilor de laborator, analiza apei subterane, raportul geotehnic cu recomandările pentru fundare și consolidări;
  • alte studii de specialitate necesare, după caz;
- caracteristicile principale ale construcțiilor din cadrul obiectivului de investiții, specifice domeniului de activitate, și variantele constructive de realizare a investiției, cu recomandarea variantei optime pentru aprobare;
- Pentru instalații este necesar să se dea: destinația, categoria de importanță și caracteristicile constructive ale clădirii, numărul de niveluri și destinația tuturor încăperilor, inclusiv dacă are sau nu subsol tehnic, tipul și structura acoperișului sau terasei, dimensiunile încăperilor și ale elementelor de construcții precum și cotele geodezice ale tuturor punctelor caracteristice ale clădirilor, gradul de rezistență la foc, categoria și clasa de pericol de incendiu a construcțiilor și instalațiilor, date privind caracteristicile proceselor tehnologice postului de transformare, grupului generator, tabloul general al clădirii și atunci când este cazul, spații pentru amplasare.
- situația existentă a utilităților:
  • necesarul de utilități pentru varianta propusă promovării

Pentru instalațiile electrice din clădire este necesar să se dea:
- receptoarele electrice de putere și caracteristicile acestora;
- condițiile luminotehnice pentru spațiile de lucru (niveluri de iluminare pentru iluminatul general și local);
- instalațiile și echipamentele pentru transmiterea informațiilor (telefonie, avertizare incendiu, avertizare efracție, televiziune cu circuit închis, interfon, voce-date etc);
- caracteristicile receptoarelor vitale, din clădire și condițiile de siguranță în funcționare;
- amplasarea utilităților clădirii (instalații termice, hidraulice, de ventilare-condiționare, gaze.
  • soluții tehnice de asigurare cu utilități.

Pentru instalațiile electrice din clădire este necesar să se dea:
- sursele de alimentare cu energie electrică, de bază și de rezervă;
- planurile de situație cu poziționarea rețelelor din zonă;
- condițiile climatice și rezistivitatea solului.
  • Concluziile evaluării impactului asupra mediului

d. Durata de realizare și etapele principale; graficul de realizare a investiției.

e. Costurile estimative ale investiției:
- valoarea totală cu detalierea pe structura devizului general;
- eșalonarea costurilor coroborate cu graficul de realizare a investiției.

f. Analiza cost-beneficiu:
- identificarea investiției și definirea obiectivelor, inclusiv specificarea perioadei de referință;
- analiza opțiunilor;
- analiza financiară, inclusiv calcularea indicatorilor de performanță financiară: fluxul cumulat, valoarea actuală netă, rata internă de rentabilitate și raportul cost-beneficiu;
- analiza economică, inclusiv calcularea indicatorilor de performanță

economică: valoarea actuală netă, rata internă de rentabilitate şi raportul cost-beneficiu;
- analiza de senzitivitate;
- analiza de risc;

g. Sursele de finanţare a investiţiei

Sursele de finanţare a investiţiilor se constituie în conformitate cu legislaţia în vigoare şi constau din fonduri proprii, credite bancare, fonduri de la bugetul de stat/bugetul local, credite externe garantate sau contractate de stat, fonduri externe nerambursabile şi alte surse legal constituite.

h. Estimări privind forţa de muncă ocupată prin realizarea investiţiei:
- număr de locuri de muncă create în faza de execuţie;
- număr de locuri de muncă create în faza de operare.

i. Principalii indicatori tehnico-economici ai investiţiei:
- valoarea totală (INV), inclusiv TVA (mii lei);

(în preţuri - luna, anul, 1 euro - lei);
din care:
- construcţii-montaj (C + M)
- eşalonarea investiţiei (INV/C + M):
- anul I
- anul II
- durata de realizare (luni);
- capacităţi (în unităţi fizice şi valorice);
- alţi indicatori specifici domeniului de activitate în care este realizată investiţia, după caz.

j. Avize şi acorduri de principiu:
- avizul beneficiarului de investiţie privind necesitatea şi oportunitatea investiţiei;
- certificatul de urbanism;
- avize de princiu privind asigurarea utilităţilor (energie termică şi electrică, gaz metan, apă-canal, telecomunicaţii etc);
- acordul de mediu;
- alte avize şi acorduri de principiu specifice.

1.2.2.2. Piese desenate:
- plan de amplasare în zonă (1:25000 - 1:5000);
- plan general (1:2000 - 1:500);
- planuri şi secţiuni generale de arhitectură, rezistenţă, instalaţii, inclusiv planuri de coordonare a tuturor specialităţilor ce concură la realizarea proiectului;
- planuri speciale, profile longitudinale, profile transversale, după caz.

1.2.3. Conţinutul-cadru al documentaţiei de avizare a lucrărilor de investiţii

1.2.3.1. Piesele scrise

a. Date generale - sunt aceleaşi ca la studiul de prefezabilitate.

b. Descrierea investiţiei:
- situaţia existentă a obiectivului de investiţii:
  - starea tehnică, din punctul de vedere al asigurării cerinţelor esenţiale de calitate în construcţii, potrivit legii;
  - valoarea de inventar a construcţiei;
  - actul doveditor al forţei majore, după caz;
- concluziile raportului de expertiză tehnică/audit energetic:
  - prezentarea a cel puţin două opţiuni;
  - recomandarea expertului/auditorului energetic asupra soluţiei optime din punct de vedere tehnic şi economic, de dezvoltare în cadrul documentaţiei de avizare a lucrărilor de investiţii.

c. Date tehnice ale investiţiei:
- descrierea lucrărilor de bază şi a celor rezultate ca necesare de efectuat în urma realizării lucrărilor de bază;
- descrierea, după caz, a lucrărilor de modernizare efectuate în spaţiile consolidate/reabilitate/reparate.

Consumuri de utilităţi:
- necesarul de utilităţi rezultate, după caz în situaţia executării unor lucrări de modernizare;
- estimări privind depăşirea consumurilor iniţiale de utilităţi.

d. Durata de realizare şi etapele principale:
- graficul de realizare a investiţiei.

e. Costurile estimative ale investiţiei:
- valoarea totală cu detaliere pe structura devizului general;
- eşalonarea costurilor coroborate cu graficul de realizare a investiţiei.

f. Indicatori de apreciere a eficienţei economice:
- analiza comparativă a costului lucrărilor de investiţii faţă de valoarea de inventar a investiţiei.

g. Sursele de finanţare a investiţiei

Sursele de finanţare a investiţiei se constituie în conformitate cu legislaţia în vigoare şi constau în fonduri proprii, credite bancare, fonduri de la bugetul de stat/bugetul local, credite externe garantate sau contractate de stat, fonduri externe nerambursabile şi alte surse legal constituite.

h. Estimări privind forţa de muncă ocupată prin realizarea investiţiei:
- număr de locuri de muncă create în faza de execuţie;
- număr de locuri de muncă create în faza de operare.

i. Principalii inidicatori tehnico-economici ai investiţiei
- valoarea totală (INV), inclusiv TVA (mii lei)

(în preţuri - luna, anul, 1 euro = lei), din care:
- construcţii-montaj (C + M);

eşalonarea investiţiei (INV/C + M):
- anul I;
- anul II'
- durata de realizare (luni);
- capacităţi (în unităţi fizice şi valorice);
- alţi indicatori specifici domeniului de activitate în care este realizată investiţia, după caz.

j. Avize şi acorduri de principiu:
- certificatul de urbanism;
- avize de principiu privind asigurarea utilităţilor (energie termică şi electrică, gaz metan, apă-canal, telecomunicaţii etc);
- acordul de mediu;
- alte avize şi acorduri de principiu specifice tipului de intervenţie.

1..2.3.2. Piese desenate:
- plan de amplasare în zonă (1:25000 - 1:5000);
- plan general (1:2000 - 1:500);
- planuri şi secţiuni generale de arhitectură, rezistenţă, instalaţii, inclusiv planuri de coordonare a tuturor specialităţilor ce concura la realizarea proiectului;
- planuri speciale, profile longitudinale, profile transversale, după caz.

1.3. Studiul de fezabilitate

Reprezintă documentaţia care cuprinde caracteristicile principale şi indicatorii tehnico-economici ai investiţiei şi se elaborează de către contractantul care a fost desemnat în urma organizării licitaţiei.

Conţinutul cadru curpinde:
- *Date generale* - sunt cele cuprinse în Studiul de prefezabilitate la care se adaugă descrierea funcţională şi tehnologică a obiectivului;
- *Date tehnice ale investiţiei* - cele cuprinse în studiul de prefezabilitate cu detalierea soluţiilor tehnice (descriere) avute în vedere pentru clădiri, reţele, utilajele principale şi instalaţiile aferente construcţiilor;
- *Date privind forţa de muncă* ce va fi ocupată pentru realizarea investiţiei (total personal, total locuri de muncă nou create);
- *Devizul general al investiţiei;*
- *Principalii indicatori* tehnico-economici ai investiţiei (valoarea totală, eşalonarea în timp, durata de realizare, capacităţi);
- *Finanţarea investiţiei* (surse proprii, credite bancare, buget local etc.);

- *Avize și acorduri* (avizul ordonatorului de credit, certificat de urbanism, asigurarea utilităților, protecția mediului, consumul de combustibil etc.);
- *Plan de amplasament, plan general și planuri de arhitectură pentru principalele construcții.*

1.4.Proiectul tehnic și caietele de sarcini

Reprezintă documentația pentru care este necesară eliberarea autorizației de construcție și întocmirea documentației de licitație pentru execuție, pe baza căruia se contractează lucrarea și se elaborează documentația de execuție (detaliile de execuție).

Proiectul tehnic se elaborează pe baza studiului de fezabilitate aprobat și are următorul conținut-cadru:

- *Descrierea generală a lucrării* (amplasament, topografie, climă, seismicitate, organizare de șantier, programul de execuție a lucrărilor, memorii tehnice de specialitate, soluții tehnice etc.);
- *Memoriul tehnic de calcul*

Explicitează conținutul lucrării, al cărui volum depinde de complexitatea documentației; se recomandă să conțină următoarele elemente:

- baza de proiectare ce cuprinde documentele care stau la baza elaborării lucrării; acestea sunt, de regulă: comanda beneficiarului, (investitorului sau proiectantului general), tema de proiectare sau faza anterioară aprobată fără modificări sau cu precizarea modificărilor intervenite pe parcursul aprobării; alte elemente referitoare la obiectul contractului;
- alimentarea cu energie electrică din sursa de bază, de rezervă și sursa proprie, atunci când este cazul;
- soluțiile adoptate pentru sistemele de iluminat normal și de siguranță;
- amplasarea tablourilor electrice, traseele coloanelor de alimentare;
- traseele circuitelor electrice până la receptoare;
- echipamentele de acționare și protecție adoptate;
- descrierea instalației tehnologice și de automatizare corespunzătoare și corelarea cu celelalte instalații, inclusiv electrice;
- descrierea instalației de protecție a omului împotriva electrocutării;
- descrierea instalației de paratrăsnet;
- măsurile pentru protecția muncii, prevăzute din faza de proiectare, ca pe timpul executării lucrărilor să se evite accidentarea personalului;
- *Listele* cu cantități de lucrări, inclusiv listele cu utilaje și echipamente, aparatura de automatizare și instalații, specificații tehnice;
- *Graficul general de realizare* a investiției;
- *Părțile desenate* (planuri generale de amplasamente); planuri topografice principale; planurile principale ale obiectivelor investiției și de arhitectură; planuri de structură ale construcțiilor; schema generală de distribuție cu energie electrică; schemele tablourilor generale de lumină și forță; schemele tehnologice pentru care se execută instalațiile de automatizare; schemele talourilor secundare - lumină, forță, automatizare;
- *Caietele de sarcini* reprezintă detalierea elementelor tehnice ale proiectului tehnic și cuprind prescripții tehnice și economice pe care trebuie să le realizeze ofertantul; caietele de sarcini se întocmesc pe specialități, iar în funcție de destinația lor pot fi întocmite pentru execuția lucrărilor; pentru probe, teste, recepții, verificări, puneri în funcțiune, urmărirea comportării în exploatare; pentru furnizorii de materiale, utilaje, echipamente.

1.5. Detaliile de execuție

Reprezintă documentația care stă la baza executării obiectivului și cuprinde toate elementele de detaliu necesare executantului pentru punerea în operă a obiectivului contractat.

Principalele piese scrise și desenate ale documentației de execuție sunt:

- planurile de amplasament, utilaje, aparate și echipamente; planuri de trasee conducte și cabluri etc.;
- scheme tehnologice de flux cu amplasarea aparaturii și a punctelor de măsură și control;
- scheme electrice desfășurate;
- jurnale de cabluri;
- specificații de echipamente și aparatură locală;
- specificații de aparate pentru echipamente electrice și de automatizare (dulapuri, tablouri, pupitre etc.)
- reglete de cleme și scheme de conexiuni;
- detalii de montare, aparate locale etc.;
- instrucțiuni de montare și punere în funcțiune;
- instrucțiuni de exploatare;
- documentație economică.

1.6. Instrucțiunile de montare și punere în funcțiune

Se întocmesc odată cu documentația de execuție și au un caracter preliminar, acestea vor fi revăzute și completate după punerea în funcțiune a instalației.

Instrucțiunile de montare și punere în funcțiune conțin:

- condițiile de montarea a echipamentelor electrice la înălțime, pentru a evita eventualele accidente;
- descrierea soluțiilor tehnologice de montare a tablourilor electrice, canale și / sau poduri de cabluri;
- descrierea instalației tehnologice, în special a fluxului tehnologic (utilaje și conducte pe care se montează aparatele de măsură și control);
- descrierea instalației de automatizare cu prezentarea programului de automatizare: se vor sublinia aparatele sau circuitele de măsură și reglare mai complexe și cu o importanță mai mare în conducerea și supravegherea procesului sub aspectul siguranței în funcționare și a eficienței tehnico-economice. În instalațiile dotate cu calculatoare de proces, automate programabile sau alte sisteme de conducere automată se prezintă caracteristicile acestora, programele utilizate și funcțiile sistemului.
- referiri la personalul necesar la investitor pentru urmărirea montării și participarea la punerea în funcțiune a instalației, ca parte integrantă a procesului de instruire a viitorului personal de exploatare și întreținere.
- testele și procedurile de verificare a aparatelor, echipamentelor și instalației atât în ce privește recepția la furnizori cât și recepția lucrărilor de montare astfel încât perioada de probe și de atingere a parametrilor proiectați să se poată realiza de beneficiar în termenele programate și în limita garanțiilor acordate de furnizor; verificările și testele trebuie să respecte documentația de proiectare, caietele de sarcini ale echipamentelor, cărțile tehnice ale utilajelor și aparatelor, alte prescripții în vigoare la data efectuării probelor și recepției.

Pentru verificare trebuie să existe dotarea cu aparate și echipamente necesare prevăzute în documentația de proiectare. Rezultatele verificărilor se consemnează în procese-verbale care stau la baza preluării lucrărilor de către investitor;

- recomandări pentru conservarea aparatelor și echipamentelor în cazul scoaterii din funcțiune a instalației pe perioade îndelungate;
- instrucțiuni de protecție a muncii pentru personalul de specialitate care participă la lucrările de verificare, probe, recepție și punere în funcțiune.

1.7. Instrucțiunile de exploatare și întreținere

Se elaborează detaliat, în funcție de complexitatea instalației, pentru diferite părți ale acesteia (aparatură locală, echipamente, aparatură din camerele centrale de comandă, sisteme de cal-

cul, automate programabile etc.) sau pentru ansamblul instalației.

Trebuie să cuprindă, în principal:

- recomandări pentru numărul și calificarea personalului de întreținere și exploatare;
- modalitățile sau programul de instruire a personalului de exploatare, pe specialități și responsabilități, la furnizorii de echipamente și aparate;
- asigurarea respectării perioadelor și graficelor verificărilor periodice a aparatelor în scopul menținerii lor în limitele performanțelor din documentația de proiectare;
- recomandări pentru dotarea atelierelor de întreținere și a laboratoarelor de verificare cu aparatură de precizie necesară reparațiilor și verificărilor;
- recomandări pentru dotarea personalului de exploatare și întreținere, a atelierelor și laboratoarelor de reparații și verificări cu mijloacele individuale și colective pentru protecția muncii și paza contra incendiilor.

2. Încadrarea obiectivelor de investiții publice pentru instalațiile electrice, în sistemul de lucrări de alimentare cu energie electrică a localităților

2.1. Autorizația de construire

Reprezintă actul eliberat de primăria municipiului, orașului sau comunei (în funcție de importanța construcției și de amplasament), pe baza căruia se asigură aplicarea măsurilor legale referitoare la amplasarea, proiectarea, executarea și funcționarea instalațiilor electrice.

Cererea de eliberare a autorizației de construire trebuie însoțită de un certificat de urbanism emis de către organele competente, cu respectarea următoarelor reglementări de urbanism și amenajare a teritoriului:

- *Regulamentul general de urbanism;*
- *Planul urbanistic general (PUG) și Planul urbanistic zonal (PUZ);*
- *Planul urbanistic de detaliu (PUD);*
- *Regulamentul local de urbanism.*

Aceste documente se elaborează de către arhitecți și specialiști, cu participarea inginerilor de instalații.

2.2. Planurile urbanistice PUG și PUZ

Stabilesc soluțiile generale de alimentare cu energie electrică, din perspectiva dezvoltării localității în ansamblul ei.

Planul urbanistic de detaliu (PUD) stabilește condițiile de amplasare și de execuție pe un anumit teren a unuia sau mai multor obiective cu destinație precizată, ținând seama de particularitățile generate de teren, de vecinătățile acestuia și de cerințele funcționale.

2.3. Avize și acorduri

Realizarea obiectivelor de investiții pentru instalațiile electrice este condiționată de obținerea unor avize și acorduri, dintre care cele mai importante sunt:

- *Certificatul de urbanism* care cuprinde elemente privind regimul juridic, economic și tehnic al terenurilor și construcțiilor și este emis de către primării sau prefecturi, după caz;
- *Avizul tehnic de racordare* pentru utilizarea energiei electrice;
- *Acordul de mediu* sau *Autorizația de mediu,* care stabilește condițiile de realizare a obiectivului de investiții din punct de vedere al impactului asupra mediului și este eliberat de Agenția pentru Protecția Mediului pe baza unui studiu de impact asupra mediului;
- Avize și acorduri pentru racordarea și/sau coordonarea rețelelor de alimentare cu energie electrică, cu cele de apă, canalizare, energie termică, telecomunicații etc; eliberate, după caz, de regiile sau agenții economici care asigură utilitățile respective;
- Avizul Inspectoratului General al Corpului Pompierilor Militari privind încadrarea în legislația siguranței la foc a obiectivelor respective de instalații și construcții;
- Alte avize și acorduri (protecția sanitară, protecția muncii etc.).

3. Cerințe esențiale de calitate și criteriile de performanță pentru instalațiile electrice și de automatizare

Proiectarea și executarea instalațiilor electrice și de automatizare se fac astfel încât acestea să realizeze și să mențină, pe întreaga durată de utilizare, următoarele cerințe esențiale de calitate (conform Legii nr. 10/1995 și Legii 123/2007):

a - rezistență mecanică și stabilitate;
b - securitate la incendiu;
c - igienă, sănătate și mediu;
d - siguranță în exploatare;
e - protecția împotriva zgomotului.
f - izolare termică și economia de energie;

Criteriile de performanță pentru realizarea acestor cerințe sunt sistematizate și prezentate, detaliat, în „GHIDUL DE PERFORMANȚE PENTRU INSTALAȚII ELECTRICE" (I.P.C.T).

Proiectele de instalații electrice și de automatizare se verifică pentru toate cerințele și pentru toate categoriile de construcții, de verificatori atestați de MLPTL (MDLPL), pentru specialitatea Instalații Electrice - IE.

4. Reglementări tehnice specifice pentru instalațiile electrice și de automatizare

Proiectarea, executarea, montarea, exploatarea și post utilizarea acestor instalații se efectuează în conformitate cu reglementările tehnice specifice, cuprinse în:

- acte legislative (legi, decrete, hotărâri și ordonanțe guvernamentale);
- normative de proiectare și executare, respectiv de exploatare a instalațiilor;
- ghiduri, regulamente, instrucțiuni;
- standarde.

Datorită număului relativ mare de reglementări tehnice specifice acestui domeniu de instalații, în continuare, se vor menționa cele mai importante:

- 17 - 2002 - Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor electrice cu tensiuni până la 1000V c.a. și 1500 V c.c.;
- GP 052 - 2000 - Ghid pentru instalații electrice cu tensiuni până la 1000 V c.a. și 1500 V c.c.;
- GT 020 -1998 - Ghidul criteriilor de performanță pentru instalații din clădiri (încălzire, ventilații, sanitare și electrice);
- PE 103 - 1992 - Instrucțiuni pentru dimensionarea și verificarea instalațiilor electroenergetice la solicitări mecanice și termice în condiții de scurtcircuit;
- PE 106 - 1995 - Normativ pentru proiectarea și executarea liniilor aeriene electrice de joasă tensiune;
- NTE 007/08/00 - 2008 - Normativ pentru proiectarea și executarea rețelelor de cabluri electrice;
- PE 111 - 1992 - Instrucțiuni pentru proiectarea stațiilor de conexiuni și transformare;
- PE 112 - 1993 - Normativ pentru proiectarea instalațiilor de curent continuu din centrale și stații;
- PE 116 - 1994 - Normativ de încercări și măsurători la echipamente și instalații electrice;
- PE 118 - 1999 - Normativ de siguranță la foc a construcțiilor;
- PE 120 - 1994 - Instrucțiuni privind compensarea puterii reactive în rețelele electrice de distribuție și la consumatori industriali și similari;
- PE 124 - 1995 - Normativ privind alimentarea cu energie electrică a consumatorilor industriali și similari;
- PE 132 - 2003 - Normativ pentru proiectarea rețelelor electrice de distribuție publică;

- PE 134 - 1996 - Normativ privind metodologia de calcul a curenților de scurtcircuit în rețele electrice;
- PE 142 - 1980 - Normativ privind combaterea efectului de flicker în rețelele de distribuție;
- PE 143 - 1994 - Normativ privind limitarea regimului deformant;
- SR 234 - 2008 - Standard pentru proiectarea și executarea branșamentelor electrice pentru clădiri civile;
- C 56 - 2003 - Normativ pentru verificarea calității lucrărilor de construcții și a instalațiilor eferente;
- Ordinul MAI nr. 163 - 2007 - Norme generale de apărare împotriva incendiilor;
- Legea 319 - 2006 - Legea securității și sănătății muncii și normele metodologice de aplicare;
- CEI 60 364-4-444-1996 - Instalații electrice în construcții. Protecția la supratensiuni;
- CEI 60364-6-1998 - Instalații electrice în construcții. Verificări;
- I 20-2000 - Normativ privind protecția construcțiilor împotriva trăsnetului;
- I 18-1996 - Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor de telecomunicații și semnalizare din clădiri civile și de producție;
- I 36 - 2000 - Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea automatizării instalațiilor din centrale și puncte termice.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 1
Mărimi fizice

1.1. Mărimi fizice în sistemele de iluminat

• **Fluxul luminos** *(Φ)*

Acesta reprezintă puterea sursei luminoase transformată în lumină şi percepută de ochi sub formă de senzaţie luminoasă. În S.I. unitatea de măsură este lumenul [lm], un submultiplu al Wattului luminos [Wl] (dacă acesta ar fi transformat integral în lumină).

1 lm = 1/683 Wl

Întrucât etalonul de un lumen nu a fost încă elaborat, fluxul luminos nu este utilizat, în prezent, ca mărime fundamentală.

Se defineşte fluxul inferior (Φ_i) sau superior (Φ_s) fluxul emis într-un unghi solid de 2π steradiani sub sau respectiv deasupra unui plan orizontal ce trece prin centrul sursei de lumină.

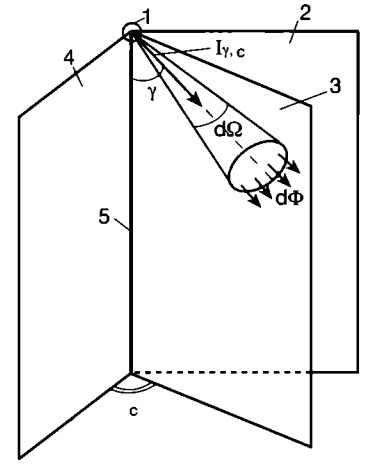


Fig. I.1.1. Poziţia unghiului solid în coordonate polare cu ajutorul a două coordonate unghiulare:
1 - sursa de lumină; 2 şi 4 - planuri de referinţă; 3 - planul intensităţii luminoase; 5 - axa sursei.

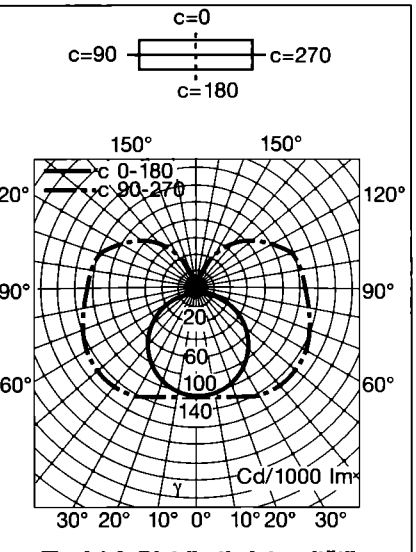


Fig. I.1.2. Distribuţia intensităţii luminoase în funcţie de unghiurile γ şi c.

Măsurarea fluxului luminos emis de sursele sau aparatele de iluminat se realizează în laborator utilizând lumenmetrul (sfera integratoare).

• **Intensitatea luminoasă** ($I_{\gamma,c}$; I_γ) reprezintă raportul dintre fluxul luminos şi unghiul solid în care acesta este cuprins:

$$I_{\gamma,c} = \frac{d\Phi}{d\Omega} \text{ sau } I_{\gamma,c} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega} \qquad (1.1.1)$$

Poziţia unghiului solid se redă cel mai uşor în coordonate polare cu ajutorul a două coordonate unghiulare (fig. I.1.1), în care:

γ - unghiul dintre direcţia intensităţii luminoase $I_{\gamma,c}$ şi axa sursei de lumină, denumit unghi de înălţime;

c - unghiul dintre un plan de referinţă (c=0°) şi planul format de axa sursei cu direcţia intensităţii luminoase $I_{\gamma,c}$ (axa unghiului infinit mic dΩ), denumit unghi de azimut.

Unitatea de măsură în S.I.:

$$\left[I_{\gamma,c}\right] = \frac{\left[\Phi\right]}{\left[\Omega\right]} = \frac{lm}{sr} = candela \text{ [cd]}$$

Candela este intensitatea luminoasă pe o anumită direcţie a unei surse de lumină care emite o radiaţie monocromatică de frecvenţă *540* Hz şi a cărei putere radiantă pe această direcţie este *1/683* W/sr (cu o eroare de $5x10^{-3}$).

În prezent, intensitatea luminoasă reprezintă mărimea fizică fundamentală din iluminat.

Măsurarea intensităţii luminoase este o măsurare de laborator realizată pentru determinarea distribuţiei spaţiale a intensităţilor luminoase emise de sursele şi aparatele de iluminat (curbele de distribuţie a intensităţii luminoase). În acest scop se utilizează goniofotometrul.

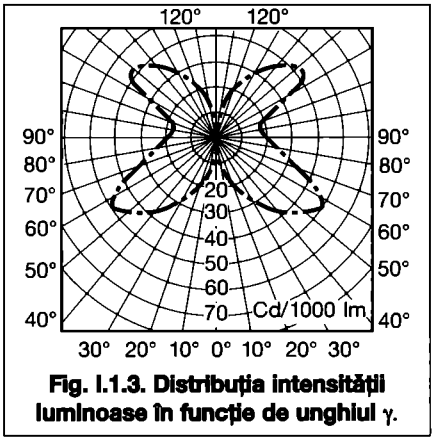


Fig. I.1.3. Distribuţia intensităţii luminoase în funcţie de unghiul γ.

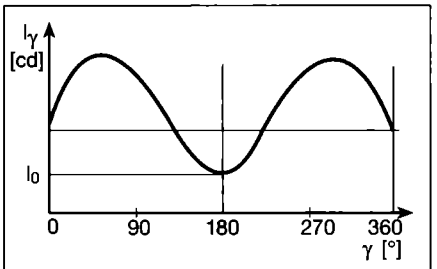


Fig. I.1.4 Reprezentarea intensităţii luminoase în coordonate carteziene.

Intensitatea luminoasă caracterizează sursele luminoase. Fabricanţii de aparate de iluminat au obligaţia de a elabora, o dată cu omologarea şi agrementarea aparatului de iluminat, curba de distribuţie a intensităţii luminoase $I_\gamma = f(\gamma)$ pentru diferite unghiuri *c*. Cel mai adesea se folosesc unghiurile *c*: 0°...180°; 45°...225°; 90°...270° şi 135°...315° sau 0°...180° şi 90°...270°.

În fig. I.1.2 şi I.1.3 se exemplifică distribuţia intensităţii luminoase în funcţie de unghiurile γ şi *c* sau numai γ.

Curbele de distribuţie a intensităţii luminoase pentru un aparat de iluminat se dau pentru situaţia în care în aparat s-a montat o sursă etalon cu un flux de 1000 lm. Pentru a determina intensitatea luminoasă reală a unui aparat de iluminat se foloseşte relaţia:

$$I_\gamma = \left(I_\gamma\right)_{CDIL} \frac{n \cdot \Phi_l}{1000} \text{ [cd]} \qquad (1.1.2)$$

în care:

$(I_\gamma)_{CDIL}$ - este intensitatea, pe direcţia γ, dată de curba de distribuţie a intensităţii luminoase;

n - numărul de lămpi din aparatul de iluminat;

Φ_l - fluxul luminos al unei lămpi.

Distribuţia intensităţii luminoase mai poate fi redată sub formă tabelară. Se indică variaţia $I_\gamma = f(\gamma)$ pentru unghiuri *c* date. Variaţia unghiului γ este, de regulă, la intervale de 5 sau 10°. Această formă de redare este foarte utilă atunci când se apelează la calculul automat.

Se utilizează şi reprezentarea în coordonate carteziene atunci când intensitatea depinde numai de unghiul γ (fig. I.1.4).

Această reprezentare permite determinarea funcţiei analitice $I_\gamma = f(\gamma)$, printr-o dezvoltare în serie Fourier, de forma:

$$I_\gamma = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I'_k \sin k\gamma + \sum_{k=1}^{\infty} I''_k \cos k\gamma \qquad (1.1.3)$$

în care:

I_0 - reprezintă valoarea minimă a intensităţii luminoase (fig. I.1.4);

I'_k şi I''_k - sunt coeficienţi (mărimi fizice) ce se determină grafoanalitic prin una din metodele Perry, Roth, Runge, Fischer - Hinner.

De regulă, pentru calculul analitic sunt suficienţi primii 3-4 termeni ai dezvoltării.

Atunci când se cunoaşte forma analitică de variaţie a intensităţii luminoase $I_{\gamma,c} = f(\gamma, c)$, fluxul luminos se poate determina cu relaţia:

$$\Phi = \int_{c=0}^{2\pi} \int_{\gamma=0}^{\pi} I_{\gamma,c} \cdot \sin\gamma d\gamma dc \qquad (1.1.4)$$

sau dacă variația este independentă de unghiul *c*:

$$\Phi = 2\pi \int_{\gamma=0}^{\pi} I_\gamma \sin\gamma d\gamma \qquad (1.1.5)$$

Exemplu: sursele perfect difuzante au o variație a intensității luminoase de forma:

$$I_\gamma = I_m \cdot \cos\gamma \quad \left[\gamma \in \left(0...\frac{\pi}{2}\right)\right] \qquad (1.1.6)$$

Pentru acestea fluxul luminos rezultă:

$$\Phi = \pi \cdot I_m \qquad (1.1.7)$$

unde:

I_m - este intensitatea maximă (emisă pe direcția $\gamma=0°$).

Alte metode de determinare a fluxului luminos, când se cunoaște curba de distribuție a intensității luminoase:

Metoda grafoanalitică a lui Rousseau

Rousseau propune o construcție grafică exemplificată în fig. I.1.5. care constă în:

- construcția curbei de distribuție a intensității luminoase la scară convenabil aleasă - a [mm/cd];
- se duce un semicerc de rază R, [mm] oarecare cu centrul în O, centrul sistemului de axe al curbei de distribuție a intensității luminoase;
- se duc razele S_1', S_2', ..., .S_n' (cu cât se duc mai multe astfel de raze cu atât eroarea de determinare a fluxului va fi mai mică); acestea intersectează curba de distribuție în punctele 1, 2,.., n. Astfel S_1, S_2...S_n sunt intensitățile luminoase pe aceste direcții: I_1, I_2, ..., I_n la scara desenului;
- din punctele 1', 2', ..., n' se duc paralele la axa orizontală a sistemului de axe; acestea taie axa AA' paralelă cu axa verticală a sistemului de axe al curbei de distribuție;
- pe fiecare din aceste paralele, începând de la AA', se duc segmente corespunzătoare intensităților luminoase I_1, I_2,..., I_n; exemplu: pe paralela din 2' se plasează segmentul $S_2 = I_2$;
- se unesc punctele 1, 2,...,n. Curba obținută, axa AA' și paralele duse din 1' și n' determină o suprafață A a cărei mărime [mm²] este proporțională cu fluxul aparatului [lm] ce emite curba de distribuție dată.

Demonstrație: suprafața elementară *dA* este cuprinsă între intensitățile I_γ și $I_\gamma+d\gamma$ infinit apropiate. Distanța *dh* este $Rd\gamma \cdot \sin\gamma$, iar suprafața *dA* rezultă:

$$dA = a \cdot I_\gamma \cdot R \sin\gamma \cdot d\gamma \qquad (1.1.8)$$

Toată suprafața A va fi:

$$A = a \cdot R \cdot \int_0^{\pi} I_\gamma \sin\gamma d\gamma \qquad (1.1.9)$$

Din relațiile 1.1.8 și 1.1.4 rezultă:

$$\Phi = \frac{2\pi}{aR} A \qquad (1.1.10)$$

unde:

a, R și *A* - au semnificațiile cunoscute.

Fluxul luminos va fi determinat cu precizia cu care va fi construită și măsurată suprafața *A*. Aceasta se poate face prin utilizarea unei hârtii milimetrice sau printr-o altă metodă similară.

Metoda grafoanalitică a unghiurilor solide egale

Principiul metodei constă în determinarea fluxului luminos ca o sumă de fluxuri luminoase elementare. Fluxul elementar reprezintă produsul dintre unghiul solid *(ΔΩ)* și intensitatea luminoasă medie *($I_{\gamma i}$)* din acesta:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{n} I_{\gamma i} \cdot \Delta\Omega \qquad (1.1.11)$$

unde:

n - este numărul de unghiuri solide egale în care este cuprins fluxul.

Unghiul total de 4π steradiani este unghiul sub care se vede o sferă din centrul său. Unghiurile solide egale trebuie să privească din centrul sferei arii egale.

Se alege ca arie suprafața unei zone sferice de înălțime *h*. Unghiul solid ce privește o asemenea suprafață este: $\Delta\Omega = 2\pi h/R$,

unde:

R - este raza sferei.

În același timp $\Delta\Omega = 4\pi/n$ este constant dacă numărul *n* de unghiuri solide se alege. Rezultă:

$$h = \frac{2R}{n} \text{ și}$$

$$\Phi = \frac{4\pi}{n} \sum_{i=1}^{n} I_{\gamma i} = 4\pi I_{ms} \qquad (1.1.12)$$

în care:

$I_{\gamma i}$ - este intensitatea medie a fiecărui unghi solid;

I_{ms} - este intensitatea medie sferică a aparatului de iluminat.

$I_{\gamma i}$ se află din curba de distribuție a intensității luminoase astfel:

- se reprezintă curba de distribuție a intensității luminoase la o anumită scară, convenabilă (fig. I.1.6);
- se înconjoară aceasta cu un cerc de rază R, oarecare;
- diametrul se împarte în n părți egale și se duc paralele la axa orizontală: AA', BB',..., MM';
- se determină mijloacele arcelor AA', AB, BC,..., MM' notate cu 1, 2,..., n;
- se determină intensitățile luminoase $I_{\gamma 1}$, $I_{\gamma 2}$, ..., $I_{\gamma i}$,..., $I_{\gamma n}$ unind O cu 1, 2...n.

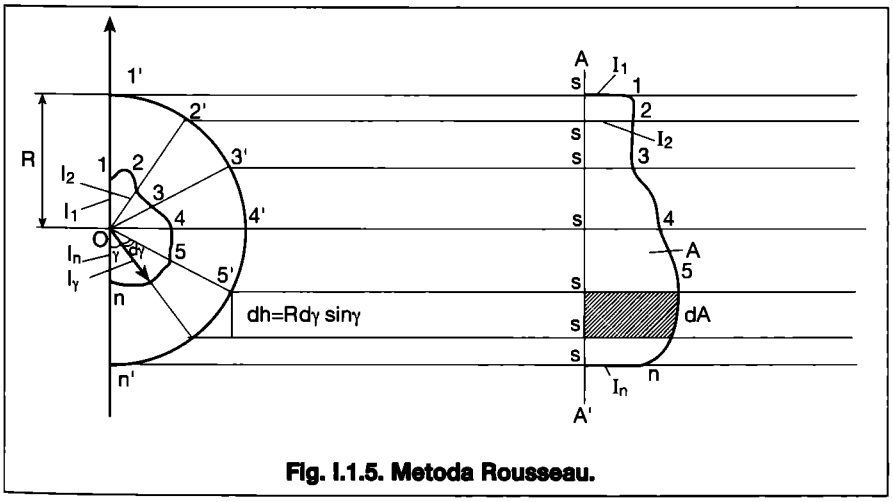


Fig. I.1.5. Metoda Rousseau.

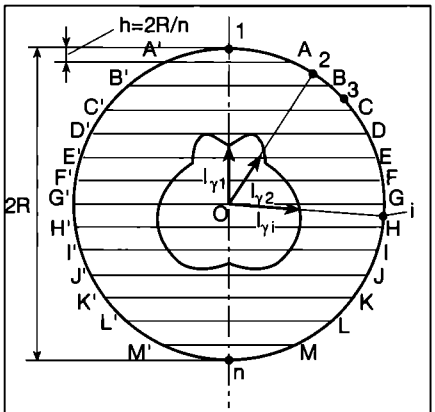


Fig. I.1.6. Metoda unghiurilor solide egale.

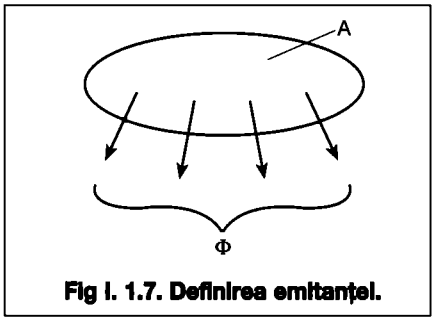


Fig I. 1.7. Definirea emitanței.

Aplicând relația 1.1.12 se află fluxul luminos al aparatului de iluminat. Rezultatul va fi cu atât mai corect cu cât "n" va fi mai mare.

• **Emitanța** este mărimea fizică ce reprezintă raportul dintre fluxul luminos emis de o suprafață și mărimea acelei suprafețe (fig. I.1.7):

$$M = \frac{d\Phi}{dA} \quad \text{sau} \quad M = \frac{\Phi}{A} \qquad (1.1.13)$$

Mărimea caracterizează atât suprafețele luminoase (panourile luminoase) cât și suprafețele reflectante (pereți etc.).

Unitatea de măsură pentru emitanța în S.I.:

$$[M] = \frac{[\Phi]}{[A]} = \frac{lm}{m^2} = lux \qquad [lx]$$

• **Iluminarea** este mărimea fizică ce reprezintă raportul dintre fluxul luminos incident pe o suprafață și mărimea acelei suprafețe (fig. I.1.8). Relațiile generale pentru iluminare sunt:

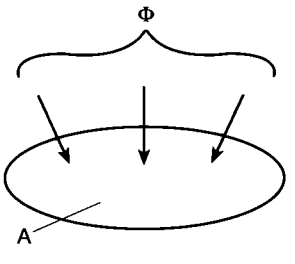


Fig. I.1.8. Definirea iluminării.

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad \text{sau} \quad E = \frac{\Phi}{A} \qquad (1.1.14)$$

Unitatea de măsură pentru iluminare în S.I. este luxul [lx].

Măsurarea iluminării și a emitanței se realizează în general „in situ", dar poate fi realizată și în laborator, cu ajutorul luxmetrului. Pentru efectuarea de măsurători precise trebuie aplicate următoarele corecții:

- corecție de sensibilitate spectrală,
- corecție de înclinare,
- corecție de temperatură.

În funcție de natura fluxului și mărimea suprafeței iluminarea poate fi:

- punctuală - când suprafața este infinit mică;
- medie - când suprafața este finită;
- directă - când fluxul provine direct de la unul sau mai multe aparate de iluminat;
- reflectată - când fluxul provine de la suprafețele reflectante dintr-o incintă (pereți, tavan, mobilier);
- totală - când fluxul provine atât de la aparatele de iluminat cât și de la suprafețele reflectante dintr-o incintă (încăpere).

Legile generale ale iluminării exprimă legătura dintre iluminarea directă într-un punct dată de o sursă punctiformă (ale cărei dimensiuni se pot neglija în raport cu distanța de la sursă la punct).

Fie o sursă punctiformă S (fig. I.1.9) ce trimite către un punct P dintr-un plan oarecare (H) o intensitate luminoasă I_γ.

Unghiul γ este cel dintre intensitatea luminoasă pe direcția punctului P și axa geometrică a sursei.

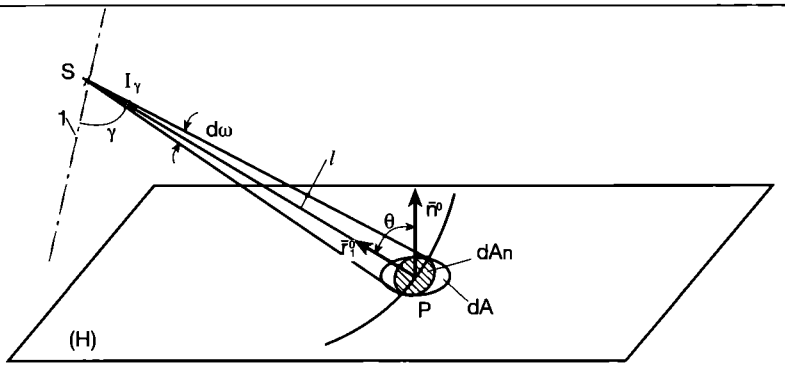


Fig. I.1.9. Reprezentarea explicativă la legile generale ale iluminării:
1 - axa sursei.

Punctul P se poate asimila cu o suprafață infinit mică *dA*. Atunci iluminarea directă în punctul P este:

$$E_P = \frac{d\Phi}{dA} \qquad (1.1.15)$$

unde:

$d\Phi$ - este fluxul cuprins în unghiul solid $d\omega$ sub care se vede *dA* din sursa *S*.

Fluxul $d\Phi$ se înlocuiește cu expresia lui din relația de definiție a intensității luminoase (1.1.1) și rezultă:

$$E_P = \frac{I_\gamma d\omega}{dA} = \frac{I_\gamma}{dA} \cdot \frac{dA_n}{l^2} = \frac{I_\gamma}{dA} \cdot \frac{dA\cos\theta}{l^2} = \frac{I_\gamma \cos\theta}{l^2} \qquad (1.1.16)$$

unde:

l - este distanța de la sursă la punct;

θ - unghiul de incidență dintre direcția intensității luminoase și normala în punctul P la planul (H) și

dA_n - suprafața normală pe l cuprinsă în unghiul solid $d\omega$ (calota sferică dintr-o sferă de rază l și care subîntinde la centru unghiul solid $d\omega$).

Relația 1.1.16 exprimă cele două legi generale ale iluminării:

- *Legea cosinusului* - iluminarea directă într-un punct dată de o sursă punctiformă este direct proporțională cu cosinusul unghiului dintre raza de lumină și normala în punct la planul în care se află.
- *Legea pătratului distanței* - iluminarea directă într-un punct dată de o sursă punctiformă este invers proporțională cu pătratul distanței de la sursă la punct.

• **Luminanța** pe o direcție este mărimea fizică egală cu raportul dintre intensitatea luminoasă pe acea direcție și suprafața normală de emisie (fig. I.1.10).

$$L_\gamma = \frac{dI_\gamma}{dA\cos\gamma} \qquad (1.1.17)$$

Luminanța unei surse de suprafață *dA* pe direcția γ față de normala la aceasta se mai definește și prin raportul:

$$L_\gamma = \frac{dE_P}{d\omega} \qquad (1.1.18)$$

în care:

dE_P - este iluminarea directă dată de sursa de suprafață *dA* într-un punct P aflat pe direcția γ și în plan perpendicular pe aceasta;

$d\omega$ - unghiul solid în care se vede sursa de suprafață *dA* din punctul P.

Unitatea de măsură pentru luminanța în S.I. este:

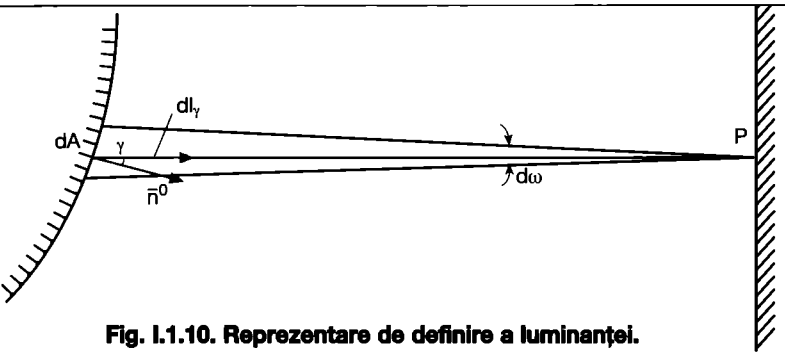


Fig. I.1.10. Reprezentare de definire a luminanței.

$$[L] = \frac{[I]}{[A]} = \frac{\text{cd}}{\text{m}^2} \text{ sau } [\text{nitt}] \qquad (1.1.19)$$

Măsurarea luminanței se poate realiza atât în laborator cât și „in situ" cu ajutorul luminanțmetrului.

Luminanța este singura mărime fizică care impresionează ochiul. Fenomenul vederii se datorează posibilității ochiului de a distinge puncte de luminanțe diferite.

• **Contrastul** este definit ca raportul dintre luminanța obiectului (L_o) și luminanța fondului (L_f).

$$K = \frac{L_o}{L_f} \qquad (1.1.20)$$

având valori supraunitare când obiectul este mai luminos (2:1; 3:1 etc) și subunitare (1:2; 1:3 etc) când fondul este mai luminos.

Pentru contrast mai este utilizată relația:

$$K = \frac{|L_o - L_f|}{L_f}, \text{ vezi cap.2.1.}$$

• **Eficacitatea luminoasă** a surselor de lumină reprezintă raportul dintre fluxul luminos al acesteia și puterea electrică absorbită.

$$e = \frac{\Phi}{P} \qquad [\text{lm/W}]$$

Cu cât aceasta este mai mare, cu atât sursa este mai performantă din punct de vedere energetic.

Pentru sursele de lumină însoțite de aparataj conex (ex.: starter, balast) se definește eficacitatea luminoasă globală ca raportul dintre fluxul luminos emis de sursă și puterea electrică globală absorbită de ansamblul sursă-aparataj conex:

$$e_g = \frac{\Phi}{P_g} = \frac{\Phi}{P + P_{ac}} \qquad [\text{lm/W}].$$

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 2

Relația lumină - vedere

Sistemul vizual este compus din ochi, nervul optic și partea aferentă din cortex care receptează și prelucrează radiația electromagnetică luminoasă.

Ochiul este impresionat de radiația luminoasă, rezultând senzația și percepția vizuală. Se spune că senzația are o pondere afectivă (se simte efectul stimulului mai tare sau mai slab), iar percepția are o pondere reprezentativă (se percep culoarea stimulului, forma, dimensiunile și mișcările sale). Studiul senzației și percepției vizuale s-a realizat printr-un mare număr de evaluări pe diverși subiecți și concluziile s-au stabilit apoi pe bază statistică.

Ochiul poate fi considerat o „cameră de luat vederi", la care cristalinul (lentila) cu convergență variabilă formează imaginea pe retină - structura sensibilă. Limitarea de flux luminos se realizează prin pupilă care cu ajutorul irisului mărește sau micșorează (ca o diafragmă) admisia de flux.

Retina este formată din celule sensibile de forma unor conuri și bastonașe, repartizate neuniform. Partea centrală a retinei *(fovea)* reprezintă zona vederii clare (vedere conturată cu precizie). În partea centrală a foveii sunt concentrate mai multe conuri, iar spre extremități crește numărul bastonașelor.

Lumina exercită asupra celulelor o acțiune fizicochimică: fizică prin variația pupilei (1:5) și variația convergenței cristalinului, iar chimică, prin pigmenții din celulele sensibile la radiație. Trebuie subliniat că bastonașele sunt mult mai sensibile decât conurile, dar nu sesizează culoarea, spre deosebire de conuri care transmit informația privind această proprietate. Acțiunea chimică la nivelul pigmenților generează impulsuri electrice care vehiculează informația la nivelul cortexului cerebral.

Sensibilitatea retinei la lumina albă este variabilă, fiind maximă în zona foveii, în care bastonașele lipsesc complet. În zona centrală, în jurul acesteia se găsește pata galbenă, având un diametru de 2...3 mm, în care numărul conurilor este mult mai mare decât al bastonașelor. Numai imaginile formate pe fovee sunt clare și perfect conturate.

Prin „câmp vizual" se definește domeniul unghiurilor spațiale în care un obiect poate fi perceput, atunci când un observator privește axial înainte (poate fi monoocular sau biocular). Câmpul vizual se definește și prin unghiurile plane limită, vertical (V) și orizontal (H) (fig. I.2.1).

Câmpul vizual central cuprinde unghiul spațial (corespunzător semiunghiurilor plane de 25° - orizontal și vertical) unde imaginea, datorită conurilor, este clară și câmpul vizual periferic, unde imaginea este neclară (estompată) datorită preponderenței bastonașelor.

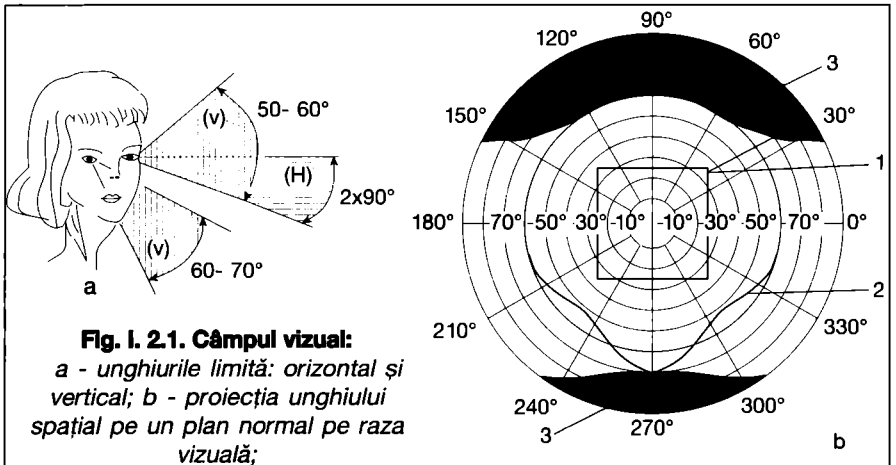


Fig. I. 2.1. Câmpul vizual:
a - unghiurile limită: orizontal și vertical; b - proiecția unghiului spațial pe un plan normal pe raza vizuală;
1 - zona corespunzătoare câmpului vizual central; 2 - limita câmpului vizual normal; 3 - zona în afara câmpului vizual.

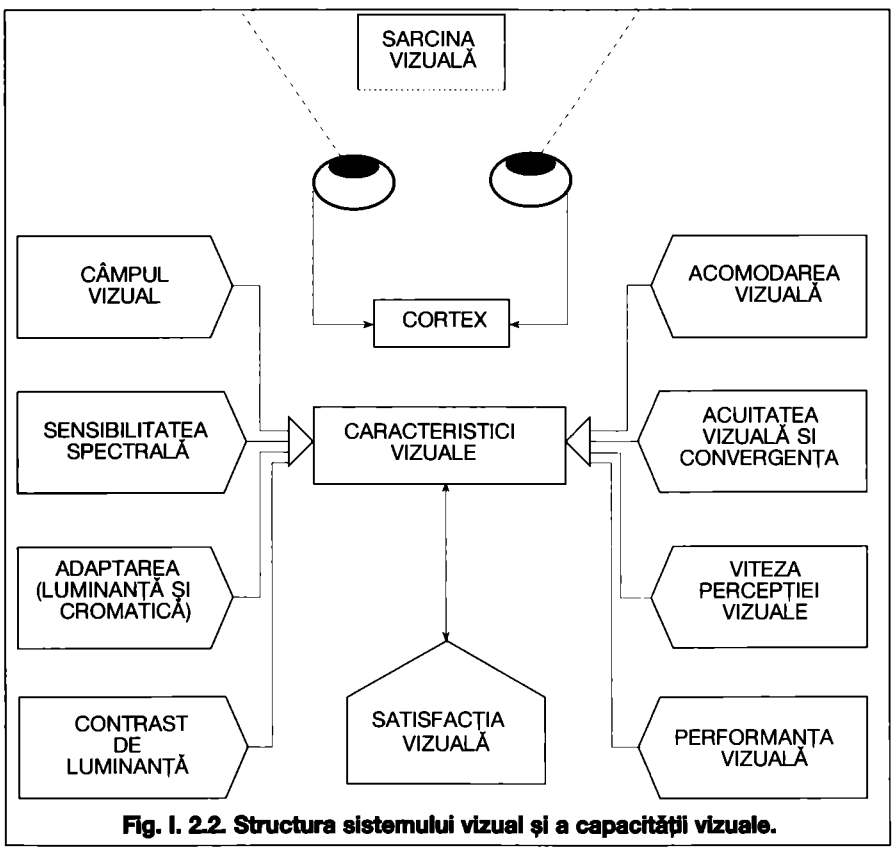


Fig. I. 2.2. Structura sistemului vizual și a capacității vizuale.

2.1. Caracteristicile vederii umane

În fig. I.2.2. se indică structura simplificată a sistemului vizual și caracteristicile sale. Organul vizual sesizează sarcina vizuală (SV) transmițând semnalul prin sistemul nervos la cortex care îl prelucrează. Prin sarcina vizuală se definește obiectul sau detaliile sale asupra căruia se realizează operația vizuală (sesizare/distingere).

Toate caracteristicile vizuale constituie „capacitatea vizuală" umană care, în general, scad ca performanță cu vârsta și cresc cu nivelul de luminanță/iluminare al fondului.

• Sensibilitatea spectrală a vederii umane

Sensibilitatea ochiului diferă în funcție de lungimea de undă a radiației luminoase. Aceasta înseamnă că dacă ochiul privește simultan 2 surse luminoase monocromatice cu lungimi de undă diferite, dar de același flux energetic, nu le percepe la fel, ca senzație luminoasă. Aceasta este maximă pentru radiația cu lungimea de undă λ_m=555 nm (corespunzătoare culorii galbene). Senzațiile luminoase perce-

pute de ochi sunt influențate nu numai de lungimea de undă a radiației ci și de nivelul de luminanță a acesteia. Astfel, odată cu scăderea luminanței obiectului privit (la lăsarea serii), obiectele albastre par mai luminoase decât cele roșii, la aceeași valoare a luminanței, adică invers decât sunt percepute la luminanțele mari din timpul zilei. Explicația rezultă din aceea că vederea diurnă *(fotopică)* este determinată, în special, de conuri, iar cea nocturnă *(scotopică)* de bastonașe care nu sesizează corect culorile.

Sensibilitatea spectrală a vederii umane este apreciată prin *coeficientul de vizibilitate relativă spectrală V(λ).* Acesta este definit, pentru o radiație cu lungimea de undă λ ca raportul dintre fluxul energetic al radiației cu lungimea de undă λ_m și fluxul energetic al radiației cu lungimea de undă λ, în condițiile în care cele două radiații provoacă ochiului aceeași senzație luminoasă.

CIE recomandă doi coeficienți de vizibilitate relativă spectrală (fig. I 2.3):
- pentru vederea diurnă (fotopică) V_λ cu $\lambda_m = 555$ nm și
- pentru vederea crepusculară sau nocturnă (scotopică) V'_λ cu $\lambda_m = 507$ nm.

• Adaptarea vizuală

Adaptarea vizuală propriu-zisă constă în capacitatea ochiului uman de a se adapta la diferite luminanțe receptate, datorită proceselor fizicochimice ce se petrec la nivelul celulelor sensibile ale retinei. Adaptarea este mai rapidă la trecerea de la luminanțe mici la luminanțe mari și mai lentă, invers. Adaptarea ochiului se realizează printr-un proces fizic care este rapid (datorat reflexului pupilei) și unul chimic care este lent (prin migrarea pigmentului retinian). Adaptarea repetată în timp și/sau spațiu provoacă o suprasolicitare a sistemului vizual, conducând la oboseală vizuală.

Adaptarea cromatică este proprietatea ochiului de a se adapta la culoarea luminii ambientale. Pe baza acestei caracteristici vizuale, la două surse de lumină de compoziții spectrale de culoare aparentă diferită, sarcinile vizuale colorate vor apărea observatorului de aceeași culoare (nu vor fi sesizate diferențele).

• Acomodarea vizuală

Acomodarea vizuală reprezintă proprietatea ochiului de a forma o imagine clară pe retină, indiferent de distanța la care se află obiectul privit. Aceasta se realizează prin modificarea distanței focale oculare, prin schimbarea convergenței cristalinului cu ajutorul mușchilor ciliari. Acomodarea se realizează, în mod uzual, spontan (reflex).

• Acuitatea vizuală

Acuitatea vizuală sau *precizia percepției vizuale* se definește, calitativ, drept capacitatea de distingere a două obiecte (puncte) foarte apropiate și, cantitativ, ca inversul valorii unghiului (δ) sub care, din ochiul observatorului, se văd cele două puncte. Pentru evaluarea acuității vizuale se utilizează panourile cu inele Landolt (fig. I.2.4). Cu cât se percepe mai clar un inel pentru care distanța *s* este mai mică, cu atât acuitatea vizuală este mai bună.

Acuitatea vizuală variază cu luminanța fondului după curba din fig. I.2.5, motiv pentru care este unul din factorii de influență în stabilirea nivelului de iluminare.

• Contrastul și efectele sale

Distingerea unui obiect se realizează datorită contrastului de luminanță (C_L) dintre obiect (L_o) și fondul pe care este privit (L_f) și/sau diferenței de culoare obiect-fond, definit de relația:

$$C_L = \frac{L_0 - L_f}{L_f} = \frac{\Delta L}{L_f} \qquad (2.1.1)$$

Contrastul de luminanță poate fi pozitiv, dacă $L_o > L_f$ (surse de lumină în iluminatul stradal sau farurile autovehiculelor) și poate fi negativ dacă $L_o < L_f$ (scrisul negru pe hârtie albă).

Sensibilitatea relativă de contrast (RCS) este definită ca inversul contrastului de luminanță:

$$RCS = 1/C_L \qquad (2.1.2)$$

și depinde de valoarea luminanței (respectiv iluminării) fondului.

• Viteza percepției vizuale

Prin viteza percepției vizuale a sarcinii vizuale se definește inversul duratei de timp de la apariția sarcinii vizuale în zona centrală a câmpului vizual și până la percepția sa clară. În mod analog se definește viteza de percepție a contrastului care depinde de luminanța fondului.

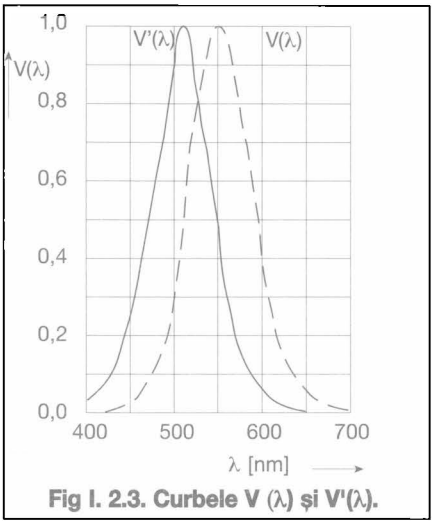


Fig I. 2.3. Curbele V (λ) și V'(λ).

• Performanța vizuală și satisfacția vizuală

Performanța vizuală este noțiunea prin care se apreciază viteza cu care organul vizual sesizează (distinge) sarcina vizuală și precizia cu care aceasta poate fi realizată.

Performanța vizuală este influențată, pe de o parte, de nivelul de luminanță ambientală, respectiv, de nivelul de iluminare, iar pe de altă parte, de dimensiunile sarcinii vizuale coroborate cu distanța față de ochi și contrastul de luminanță și/sau culoare.

Satisfacția vizuală este noțiunea prin care se definește senzația de satisfacție a observatorului, realizată la un anumit nivel de iluminare. Ea este determinantă pentru stabilirea nivelului de iluminare, în special, în încăperile unde nu se realizează o muncă fizică. Spre deosebire de celelalte caracteristici, satisfacția vizuală nu este influențată de vârstă.

În concluzie, caracteristicile vizuale enumerate sunt determinante pentru înțelegerea influenței luminii asupra sistemului vizual și, respectiv, asupra efectelor cantitative și calitative ale mediului luminos.

Capacitatea vizuală reprezintă o caracteristică a individului, ca și auzul, mirosul, inteligența etc. Ea este dependentă de factorii fizici (forma și transmitanța pupilei ș.a.) sau fiziologici (acomodarea, convergența și centrarea ochilor ș.a.). Capacitatea vizuală redusă datorată unor defecte fizice congenitale sau vârstei poate fi corectată, dar într-un mod limitat, neelastic.

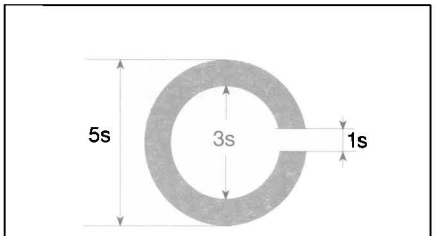


Fig. I.2.4. Inel Landolt .

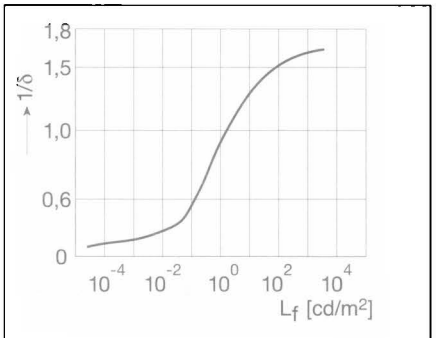


Fig. I.2.5. Variația acuității vizuale (1/δ).

2.2. Orbirea și efectele sale

În luminotehnică orbirea se definește ca starea de jenă sau de reducere a capacității de distingere a obiectelor, ca urmare a unei distribuții nefavorabile a luminanțelor în timp și/sau spațiu.

Orbirea poate fi *directă*, atunci când sursele cu luminanță ridicată se află în câmpul vizual, deci sunt privite direct, și *indirectă*, atunci când aceleași luminanțe ajung în câmpul vizual prin reflexie - deci sursa luminoasă nu este privită direct.

Din punctul de vedere al acțiunii intensității strălucirii sursei asupra ochiului, orbirea poate fi fiziologică și psihologică (fig. I.2.6).

Orbirea fiziologică (de incapacitate) se manifestă fie la șocul luminanței ridicate a unei surse, fie la diferența foarte mare de luminanțe (la momente consecutive) și se resimte printr-o scădere mare a capacității vizuale.

Orbirea psihologică (de inconfort) se manifestă ca o senzație de inconfort evaluată numai subiectiv și este datorată unei diferențe de luminanțe (de exemplu, receptarea unui contrast de luminanțe la periferia câmpului vizual produs de diferența de luminanțe dintre un AIL direct și plafonul neluminat). Orbirea psihologică, nefiind direct controlabilă, ridică probleme cu un grad mai mare de dificultate decât orbirea fiziologică.

Orbirea indirectă (reflectată) este provocată fie de suprafețe pe care reflexia este regulată (de tipul oglinzilor), fie de suprafețe difuzante imperfecte (în care imaginea sursei se conturează). Efectul așa - numitului „voal de reflexie" este, de multe ori, o diminuare a sensibilității de distingere corectă a sarcinii vizuale, fie prin micșorarea contrastului, fie prin reflexii parazite pe suprafețe lucioase (ecranul calculatorului, piese mecanice, vitrine de magazine ș.a.). Voalul de reflexie sau reflexia de voal produce „orbirea de voal".

Dat fiind faptul că orbirea fiziologică este determinată de prezența unei surse de luminanță mare în câmpul vizual, efectele sale sunt relativ ușor de controlat și evaluat (SL și AIL seara/noaptea, ferestre însorite ziua).

Indicarea unei valori limită pentru orbirea directă implică un risc pentru că, totdeauna, intervin o serie de factori de influență (luminanța mediului, luminanța sarcinii vizuale, timpul de privire a luminanței perturbatoare etc.). Raportul CIE 19 arată că unui observator a cărui privire părăsește sarcina vizuală și privește o suprafață cu o luminanță de 10 ori mai mare, timp de 15 s, capacitatea vizuală îi scade cu 25 %.

Măsurile de protecție se pot lua relativ ușor prin utilizarea seara/noaptea de AIL corespunzătoare și prin ecranarea suprafețelor vitrate (jaluzele reglabile etc.).

Orbirea psihologică, prin aspectele sale fenomenologice complexe, a pus probleme dificile în vederea determinării mecanismului său, influenței asupra capacității vizuale umane și sistemului de evaluare a efectelor sale și de limitare a lor.

Factorii ce intervin în orbirea psihologică sunt:
- luminanța AIL și poziția lor în câmpul vizual;
- numărul și dimensiunea aparentă a AIL;
- luminanța generală a ambianței (plafon, pereți, pardoseală) și
- contrastul dat de luminanțele AIL și ale plafonului.

Cercetarea internațională și națională a determinat metode de evaluare a orbirii, indicate la cap. 8, care trebuie aplicate (selectiv) în proiectarea curentă.

Orbirea indirectă produsă de lumina reflectată de suprafețele cu o reflexie regulată sau imperfect difuze, produc senzații perturbatoare, de la inconfort la incapacitate.

Când această reflexie se produce într-o activitate vizuală (exercitată asupra unei sarcini vizuale), se numește reflexie de voal (sau voal de reflexie sau reflexie de ecran) și determină orbirea de voal. Atunci când se manifestă în afara unei activități vizuale este denumită orbire reflectată.

Lumina reflectată provoacă o scădere a contrastului sarcinii vizuale față de fond ceea ce conduce la diminuarea capacității de distingere corectă (fig. I.2.7 a).

De asemenea, reflexia de voal provocată de reflectarea AIL în ecranul calculatorului, crează imposibilitatea percepерii corecte și confortabile a semnalelor (fig. I.2.7 b).

Un aspect foarte important privitor la alegerea unui sistem de iluminat sau a altuia îl reprezintă determinarea clasei de calitate a aparatelor de iluminat folosite, în vederea limitării orbirii (vezi tabelul I.5.1).

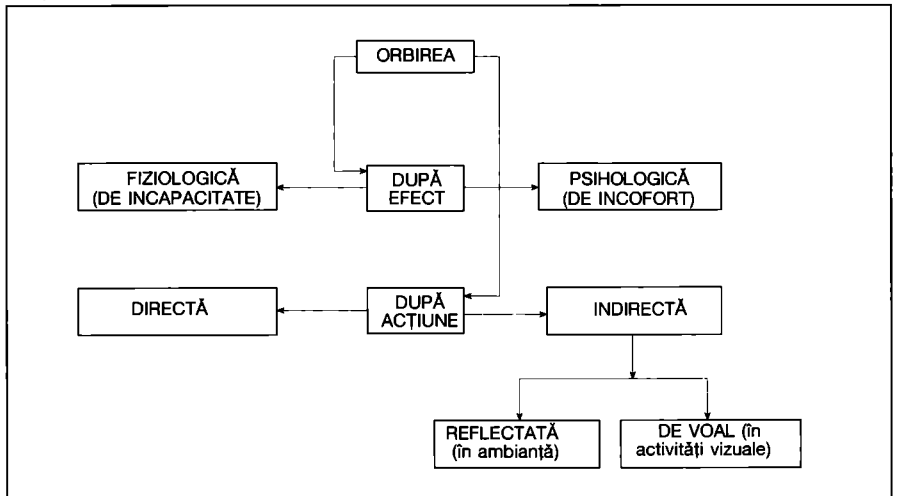
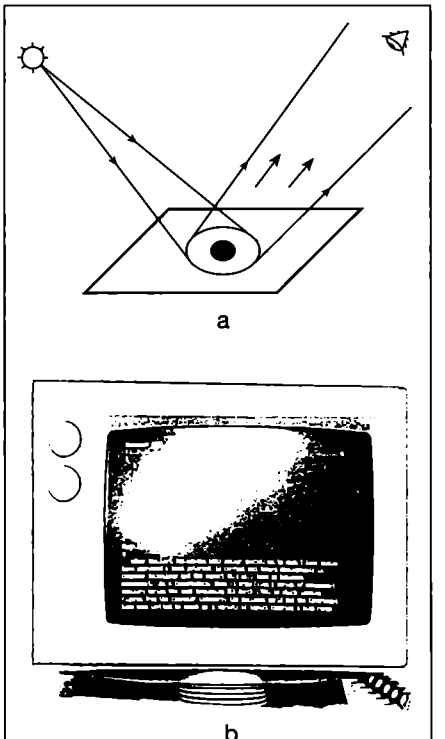


Fig. I.2.6. Schema tipurilor de orbire.



a

b

Fig. I.2.7. Reflexie de voal
a - suprafață orizontală;
b - ecran calculator în care se observă luminanță de voal.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 3

Mediul luminos confortabil

3.1. Mediul luminos interior

Este determinat de ansamblul factorilor luminotehnici cantitativi şi calitativi ce concură la realizarea unui sistem de iluminat necesar asigurării confortului, funcţionalităţii şi esteticii spaţiului (încăperii) în care se desfăşoară o activitate umană (muncă, divertisment, odihnă ş.a.)

Schema din fig. I.3.1 pune în evidenţă factorii luminotehnici determinanţi cantitativi (nivelul de iluminare şi distribuţia fluxului luminos superior şi interior) şi calitativi (distribuţia luminanţelor, culoarea luminii, direcţionarea luminii şi modelarea/reliefarea sarcinii vizuale tridimensionale, evitarea pâlpâirii) precum şi conexiunile între acestea.

Cercetările realizate pe plan mondial şi în ţara noastră au căutat să stabilească echilibrul factorilor determinanţi în realizarea unui mediu luminos confortabil.

3.1.1. Aspecte cantitative

Nivelul de iluminare

Reprezintă factorul de bază în iluminat prin posibilităţile de normare, de calcul şi măsurare ce le oferă. Deoarece nivelul de iluminare pe *suprafaţa utilă* E_u este direct proporţional cu *luminanţa fondului* L_f a suprafeţei utile ($L_f = qE_u$), unde q este coeficientul de luminanţă, prin realizarea iluminării se asigură şi realizarea luminanţei fondului ceea ce este determinant în procesul percepţiei vizuale.

Pe baza elementelor determinante (sarcina vizuală, performanţa vizuală şi satisfacţia vizuală) au fost stabilite nivelurile de iluminare recomandate de „Ghidul CIE de iluminat interior". Pentru a uşura adaptarea vizuală se recomandă ca, la trecerea de la o încăpere la alta, diferenţele de iluminare să nu fie mai mari de 5:1 (sau mai mici de 1:5).

Distribuţia spaţială a fluxului luminos

Distribuţia fluxului luminos emis de aparatele de iluminat în semispaţiul inferior şi superior (faţă de planul de amplasare a aparatelor de iluminat) reprezintă un factor cantitativ, care are o foarte mare importanţă în distribuţia luminanţelor în câmpul vizual.

Fluxul inferior creează contraste accentuate în câmpul vizual, în timp ce fluxul superior ridică iluminarea (luminanţa) plafonului şi diminuează contrastele sau ca efect, fluxul inferior reprezintă eficienţă, iar cel superior confort. De la caz la caz, proporţiile trebuie alese astfel încât să se satisfacă cerinţele particulare ale mediului luminos considerat.

Prin fluxul luminos superior se obţine şi un efect estetic-arhitectural, creându-se senzaţia de mărire a înălţimii incintelor. În încăperile mici, pentru a se obţine o senzaţie pozitivă de creştere a spaţiului, este necesară şi dirijarea unei importante cantităţi de flux către pereţi, ceea ce asigură un echilibru foarte bun al distribuţiei luminanţelor în spaţiu.

3.1.2. Aspecte calitative

Distribuţia luminanţelor

Confortul ambientului luminos impune o distribuţie echilibrată a luminanţelor în spaţiul încăperii (câmp vizual şi suprafaţă utilă), pentru evitarea orbirii fiziologice şi psihologice.

Distribuţia corectă a luminanţelor pe suprafaţa utilă necesită:
- realizarea uniformităţii luminanţelor pe ansamblul ariei utile a încăperii;
- realizarea uniformităţii luminanţelor pe zona de lucru (masă, birou, planşetă, banc de lucru ş.a.);
- direcţionarea corespunzătoare a luminii asupra sarcinii vizuale şi fondului în vederea redării corecte a contrastului şi a evitării aspectelor perturbatoare enunţate la cap. 2 (voalul de reflexie).

După normele internaţionale (cod CIE) se recomandă uniformitatea generală pentru un sistem uniform distribuit $E_{min}/E_m > 0,8$, iar pentru suprafaţa efectivă de lucru (birou, planşetă, banc etc.) $E_{min}/E_{mx} \geq 0,8$.

E_m, E_{min}, E_{mx} sunt iluminările medie, minimă şi maximă pentru suprafeţele respective.

De asemenea, în cazul iluminatului general, localizat sau combinat, aceleaşi norme CIE indică o variaţie maximă a iluminărilor medii între suprafaţa utilă şi suprafaţa de lucru de cel mult 1:3.

Gradarea judicioasă a luminanţelor în câmpul vizual este o problemă esenţială în realizarea calităţii unui mediu luminos confortabil.

În plus, se recomandă ca variaţia maximă a iluminării medii între încăperi adiacente să fie de cel mult 1:5, pentru a se respecta cerinţele de adaptare vizuală la trecerea dintr-o încăpere într-alta.

Având în vedere problema echilibrului strălucirii într-o încăpere, rezultă necesitatea controlului şi a echilibrului următoarelor surse de luminanţă:
- aparate de iluminat;
- surse de lumină;
- ferestre (prin care se vede cerul/soarele);
- pereţi şi plafon;

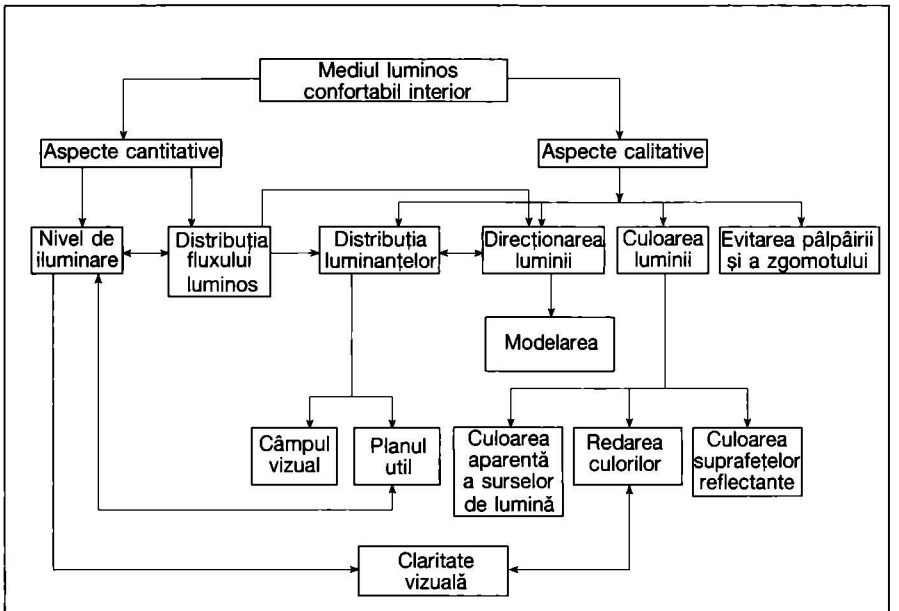


Fig. I.3.1. Mediul luminos interior.

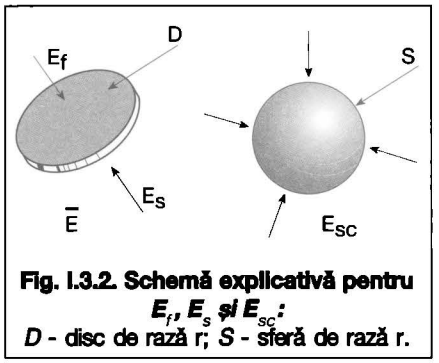


Fig. I.3.2. Schemă explicativă pentru E_f, E_s şi E_{sc}:
D - disc de rază r; *S* - sferă de rază r.

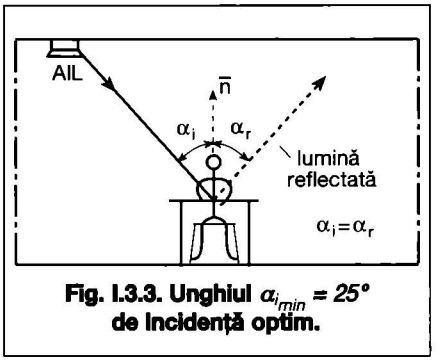


Fig. I.3.3. Unghiul $\alpha_{i_{min}} = 25°$ de incidenţă optim.

- pardoseală;
- mobilier sau utilaje;
- figura umană;
- mărimea sarcinii vizuale.

Modelarea şi direcţionarea luminii

Modelarea sau reliefarea reprezintă modul de a pune în evidenţă sarcinile vizuale tridimensionale prin contraste de luminanţă.

Imaginea poate fi:

A. normală (redare corectă);
B. contrastantă (redare „dramatică"/„dură");
C. fără contraste (redare slabă, „plată").

Modelarea se poate realiza printr-o direcţionare corespunzătoare a luminii, respectiv, prin amplasarea şi orientarea aparatelor de iluminat (AIL).

Evaluarea modelării se realizează după Fischer, cu indicele de modelare m:

$$m = \frac{|\bar{E}|}{E_{sc}} \qquad (3.1.1)$$

în care:

$\bar{E}$ - este vectorul iluminare (definit ca diferenţa dintre iluminările de pe faţa (E_f) şi spatele (E_s) unui disc de referinţă de rază r), iar E_{sc} reprezintă iluminarea scalară pe o sferă de referinţă cu aceeaşi rază, r (fig. I.3.2), produse de sistemul de iluminat.

Dacă $E_f=E_s$, $m_{min}=0$, reprezintă o imagine fără contraste (de tip C).

Dacă $E_s=0$, rezultă valoarea maximă:

$$m = \frac{E_f}{E_{sc}} = \frac{\frac{\Phi}{\pi \cdot r^2}}{\frac{\Phi}{4\pi \cdot r^2}} = 4 \qquad (3.1.2)$$

ceea ce reprezintă o modelare cu contraste maxime (tip B) - adică o imagine dură, dramatică.

Pentru o modelare normală (A), cu o bună redare a figurii umane, se recomandă, pentru m, valori între 1 şi 2.

Un alt indice folosit în aprecierea modelării este:

$$m'=E_c/E_u \qquad (3.1.3)$$

unde:

E_u - este iluminarea planului util şi
E_c - iluminarea cilindrică (iluminarea suprafeţei laterale a unui cilindru de referinţă plasat perpendicular pe planul util).

O modelare normală se obţine pentru $m'=0,3-3$. Dacă $E_c=0$, $m'=0$ şi imaginea este plată, iar dacă $E_u=0$ şi $E_c\neq0$, $m'\rightarrow\infty$ contrastul este maxim.

Valoarea minimă se obţine printr-o amplasare simetrică a AIL, iar cea maximă, printr-o amplasare asimetrică dirijată (cap. 6).

Modelarea şi direcţionarea luminii reprezintă, de asemenea, un aspect estetic care contribuie la evidenţierea unor elemente tridimensionale din spaţiile de expunere de diferite destinaţii sau a unor elemente plane (fragmente decorative de pe pereţi şi plafon).

Direcţionarea luminii reprezintă o condiţie determinantă şi pentru redarea sarcinilor vizuale din planul util orizontal (mai rar, vertical) prin:

- redarea corespunzătoare a contrastului sarcină vizuală-fond (evitarea voalului de reflexie prin respectarea unghiului α, de incidenţă optimă, de 25° - fig. I.3.3);
- utilizarea de AIL cu luminanţă redusă în direcţiile critice (de privire);
- utilizarea de AIL ce emit în unghiuri solide mari, în special, la încăperi de înălţime mică.

Un alt aspect al direcţionării/modelării este punerea în evidenţă, atunci când procesul de muncă o cere, a unor defecte pe suprafeţele plane. În aceste condiţii unghiul α creşte mult (până la 70...80°) şi se utilizează iluminatul local (§. 11.2.7).

Culoarea luminii

Culoarea luminii prin cele trei aspecte menţionate (culoarea aparentă a surselor de lumină, redarea culorilor şi culoarea suprafeţelor reflectante), reprezintă o condiţie calitativă foarte importantă în realizarea mediului luminos confortabil.

Alegerea corespunzătoare a culorii aparente a surselor este o condiţie determinantă în realizarea funcţionalităţii şi esteticii încăperii. Pe de altă parte, culoarea suprafeţelor reflectante trebuie, de asemenea, aleasă judicios faţă de culoarea aparentă a surselor, pentru a nu compromite efectul dorit.

Culoarea aparentă

Temperatura de culoare corelată T_{cc}, a unei surse luminoase este definită ca temperatura la care trebuie încălzit corpul negru pentru a emite un spectru luminos cât mai apropiat de cel al sursei. În funcţie de temperatura de culoare corelată, culoarea aparentă a surselor de lumină se clasifică în 3 categorii:

- caldă (alb-roşiatic, $T_{cc}<3300$ K),
- neutră (alb, $T_{cc}=3300...5300$ K) şi
- rece (alb-albăstrui, $T_{cc}>5300$ K).

De asemenea, se definesc culoarea aparentă neutră-caldă pt. $T_{cc}>3300...4000$ K şi culoarea aparentă neutră-rece pt. $T_{cc}>4000...5300$ K.

Culorile neutre sunt recomandate în toate încăperile în care se desfăşoară o activitate fizică sau intelectuală dacă se realizează un sistem parţial integrat cu iluminatul natural.

Culorile calde se recomandă pentru încăperile în care se urmăreşte realizarea unei atmosfere calde, plăcute, relaxante sau stimulative. De asemenea, pot fi utilizate pentru efecte şi sarcini speciale de ambianţă, precum şi în zonele cu climă rece sau în încăperile amplasate spre nord.

Culorile neutre-reci sunt recomandate numai la niveluri de iluminare ridicate, în sisteme integrate de iluminat natural-electric, pentru încăperi cu o suprafaţă vitrată foarte mare sau în zonele cu climă caldă.

În România nu se recomandă culoarea aparentă rece a surselor de lumină (electrice).

Redarea culorilor

Este o condiţie calitativă ce devine extrem de importantă în încăperile în care sarcinile vizuale sunt colorate. Prin redarea culorilor se defineşte modul în care se manifestă efectul luminii asupra aspectului cromatic al obiectelor iluminate. CIE, indică o formulă empirică ce surprinde procesul redării culorilor:

$$Ra=100-4,6\Delta\bar{E}_a \qquad (3.1.4)$$

unde:

Ra - este indicele general de redare a culorilor;
$\Delta\bar{E}_a$ - media aritmetică a diferenţelor de coordonate cromatice din sistemul tricromatic CIE pentru 8 culori de referinţă (care acoperă tot domeniul spectrului vizual) ale unui iluminant de referinţă (lumina incandescentă sau lumina

Tabelul I.3.1. Valori orientative pentru *Ra*

Ra	100	100...90	90...70	70...50	50...30	30
Redare	Ideală	Excelentă	Foarte bună	Moderată - bună	Modestă	Slabă
Surse	Iluminant de referinţă*	LIC, LIH, LF cu înaltă redare	LF cu redare foarte bună, MH	LF	LVF, LPN/SON	SOX

* Corpul negru încălzit sau lumina naturală reconstituită

LIC - lampă cu incandescenţă clasică; LIH - lampă cu incandescenţă cu halogen; LF - lampă fluorescentă; LVF - lampă fluorescentă cu descărcări în vapori de mercur la înaltă presiune; LPN/SON - lampă cu descărcări în vapori de sodiu de înaltă presiune; SOX - lampă cu descărcări în vapori de sodiu la joasă presiune; MH - lampă cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune cu adaosuri de halogenuri metalice.

de zi) și coordonatele aceloraşi culori din spectrul emis de sursa considerată.

Dacă $\Delta\bar{E}_a=0$, atunci $Ra=100$ (valoarea maximă) și redarea culorilor este ideală. Valorile orientative pentru *Ra* sunt date în tabelul I.3.1.

Datorită proprietății de adaptare cromatică, obiectele colorate nu produc ochiului uman diferențe sesizabile dacă sunt privite la surse de lumină diferite din punctul de vedere al compoziției spectrale, cu indice de redare foarte bun sau excelent (de exemplu, un obiect colorat la lumină incandescentă creează același aspect cromatic ca și obiectul privit la lumina zilei, cu toate că diferențele de coordonate sunt foarte mari). Ochiul va sesiza diferența numai dacă privește simultan mostra de culoare luminată de cele două surse diferite.

Culoarea suprafețelor reflectante

Pot contribui, dacă sunt judicios alese, la realizarea culorii ambientale confortabile sau pot altera calitatea mediului luminos, dacă alegerea nu este corespunzătoare. Este necesară astfel îndeplinirea următoarelor condiții:
- armonizarea culorii suprafețelor reflectante cu culoarea aparentă a luminii (culori apropiate);
- utilizarea de culori cu reflectanță mare pentru plafon *($\rho\geq0,7$)* și pereți *($\rho\geq0,5$)*, ceea ce contribuie la echilibrul ambiental al luminanțelor;
- culoarea suprafețelor reflectante să aibă un rol funcțional în încăperile de lucru și estetic în încăperile de odihnă și divertisment.

Funcționalitatea și estetica încăperilor pot fi influențate de efectul psihologic al culorilor asupra sistemului vizual și asupra omului, în general.

Gradul de saturație al culorii (proporția de culoare pură) este o componentă importantă în realizarea unor efecte ambientale. Culorile cu un grad mare de saturație produc contraste puternice, favorabile atenționării observatorilor (magazine, vitrine, panouri de expunere, reclame etc.). Culorile nesaturate sau puțin saturate realizează o ambianță agreabilă, favorabilă lucrului și odihnei, fiind indicate în majoritatea încăperilor.

Culorile calde nesaturate au, de regulă, următoarele efecte:
- diminuează senzația de rece din încăperile cu temperatură scăzută;
- creează un efect stimulativ pentru activitatea intelectuală;
- dau o ușoară senzație de reducere a dimensiunilor.

Culorile reci nesaturate:
- diminuează senzația de căldură din încăperile cu temperatură ridicată;
- produc o senzație de liniște, de calmare;
- produc o ușoară senzație de mărire a dimensiunilor încăperii (când au un grad de saturație foarte redus).

Pentru suprafețe mari de expunere, fondul se recomandă să fie realizat în culori nesaturate pentru a permite accentuarea exponatelor ce vor fi prezentate în culori saturate. Contrastul dintre fond și exponate va permite o bună evidențiere a acestora.

Pentru alegerea corectă a culorilor și a combinațiilor acestora se pot folosi:
- cercul culorilor, din fig. I.3.4 și
- schemele de alegere a culorilor, prezentate în fig. I.3.5. Acestea pot fi:
  - *armonizate,* recomandate pentru încăperile obișnuite de lucru sau odihnă, unde se urmărește realizarea unei ambianțe agreabile (schema monocromatică cu 3 saturații diferite - fig. I.3.5 a sau de culori adiacente - fig. I.3.5 b). Utilizarea schemei monocromatice de aceeași saturație a culorii poate conduce la monotonie, efect ce poate fi evitat prin variații de saturație la aceeași culoare;
  - *contrastante,* recomandate pentru încăperile în care oamenii sunt în trecere și în care se urmărește punerea în evidență a anumitor obiecte și diverse efecte speciale de atenționare (se adoptă fie o schemă complementară - fig. I.3.5 c, fie schema contrastantă din fig. I. 3.5 d).

În unele clădiri industriale se pot utiliza culorile pentru protecția și securitatea muncii, vopsind elementele ce prezintă pericol în culori de atenționare, cu contrast de culoare față de mediul ambiental. De exemplu:
- conductele de gaze sau cu pericol de explozie se vopsesc în galben;
- conductele de agent termic cu temperatură mare (conducte de abur sau apă fierbinte) se vopsesc în roșu închis;
- părțile metalice, ce accidental ar putea ajunge sub tensiune, se vopsesc în verde închis etc.

Pâlpâirea și zgomotul

Sursele de lumină cu agitație moleculară (în special, cele cu descărcări) au ca efecte secundare:
- pâlpâirea, determinată de trecerea curentului alternativ prin zero la frecvența rețelei de 50 Hz;
- zgomotul, produs de balasturile clasice prin vibrația tolelor, datorită câmpului electric variabil.

Pâlpâirea este atenuată atât prin inerția luminoasă a stratului/straturilor

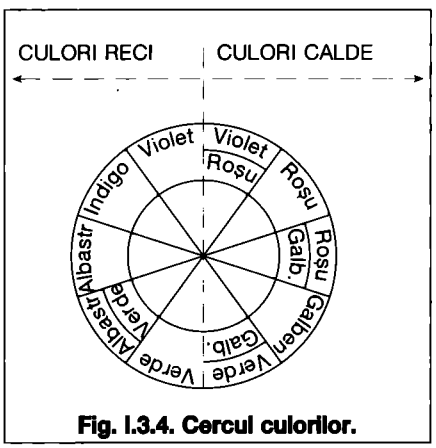


Fig. I.3.4. Cercul culorilor.

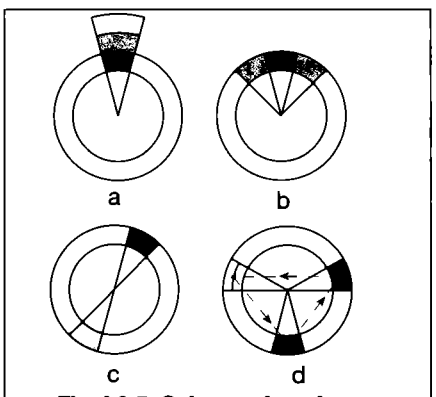


Fig. I.3.5. Scheme de culoare: *a - monocromatică; b - de culori adiacente; c - complementară; d - contrastantă.*

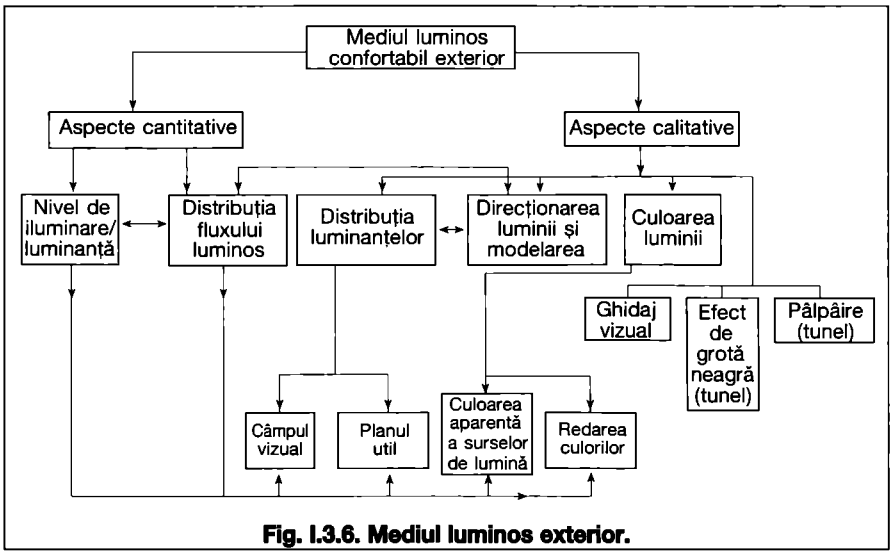


Fig. I.3.6. Mediul luminos exterior.

de luminofor modern(e), cât și prin utilizarea balasturilor electronice (de înaltă frecvență când, practic, trecerea prin zero nu mai este sesizată).

Zgomotul la balasturile clasice poate fi atenuat printr-o execuție îngrijită și o montare atentă, cu strângerea elementelor ce pot vibra. El este total eliminat la balasturile electronice.

De menționat posibilitatea apariției efectului stroboscopic, în condițiile folosirii surselor clasice vechi sau fără acoperire fluorescentă, când există componente ale unor mașini ce au o mișcare periodică de frecvență apropiată cu cea a rețelei.

Între diferitele aspecte ale mediului luminos există influențe logice univoce sau biunivoce care trebuie luate în considerare, (fig. I.3.1) și anume:
- cu cât nivelul de iluminare este mai mare, redarea culorilor este mai bună realizându-se „claritatea vizuală";
- distribuția fluxului luminos determină nivelul de iluminare în planul util;
- distribuția fluxului luminos determină distribuția luminanțelor;
- distribuția fluxului luminos în conexiune cu distribuția luminanțelor și direcționarea luminii determină modelarea, iar direcționarea luminii influențează distribuția luminanțelor.

Cercetările recente au demonstrat că nu există o relație de proporționalitate între nivelul de iluminare și temperatura de culoare (culoarea aparentă).

Trebuie menționat că numai respectând aspectele cantitative și calitative expuse și conexiunile dintre ele se va putea realiza un mediu luminos interior confortabil, funcțional și estetic.

3.2. Mediul luminos exterior

Analog cu iluminatul interior, și în cel exterior se poate defini mediul luminos ce reprezintă ansamblul factorilor luminotehnici cantitativi și calitativi (fig. I.3.6) ce concură la realizarea unui ambient luminos necesar unor activități specifice: de muncă, jocuri sportive, circulație pietonală, circulația auto și a mijloacelor de transport, a accentuării estetice a unor obiective de interes civic sau arhitectural.

În general, lipsa suprafețelor reflectante laterale și de sus transformă sistemul de iluminat exterior într-un iluminat, de regulă, al unei suprafețe plane, amplasat într-o incintă „neagră" cu dimensiuni infinit mari, ceea ce creează deosebiri esențiale în abordarea condițiilor cantitative și calitative specifice.

3.2.1. Aspecte cantitative

Nivelul de iluminare sau luminanța

Nivelul de iluminare este mărimea de bază în determinarea cantitativă a sistemul de iluminat (SIL) exterior în care elementul în mișcare este omul în una din activitățile sale de muncă, sport, divertisment, circulație pietonală ș.a.

Pentru platformele deschise, nivelul de iluminare se stabilește pe baza sarcinilor vizuale caracteristice procesului de muncă sau/și vitezei de circulație, iar în cazul supravegherii și securității, în funcție de gradul de risc determinat de procesul tehnologic.

Pentru activitățile sportive, nivelul de iluminare se stabilește în funcție de următoarele criterii:
- disciplina sportivă,
- viteza de execuție a mișcărilor sportivului,
- dimensiunile mingii, în cazul jocurilor,
- categoria funcțională a terenului (antrenament sau competiție),
- exigențele impuse de transmisia TV color.

De asemenea, o condiție suplimentară determinată de necesitatea de distingere spațială corectă (modelare) este menținerea iluminării verticale (E_v), în zona centrală la $h=1,5$ m, la cel puțin jumătate din iluminarea medie orizontală (E_H) recomandată, iar pentru obținerea unei redări corecte TV se recomandă $E_v=(1...2)\ E_H$ (cu cât E_v este mai mare, cu cât imaginea este mai bună).

Nivelul de luminanță este mărimea de bază pentru calculul SIL rutier, datorită vitezei mari de deplasare a observatorului și caracterului „activ" al luminanței față de ochi. Valoarea se stabilește în funcție de categoria drumului și intensitatea traficului.

Distribuția fluxului luminos

Datorită structurii SIL exterior (iluminatul unei suprafețe, de regulă, orizontale și rareori verticale), distribuția fluxului luminos în marea majoritate a cazurilor este directă, pentru realizarea unor sisteme eficiente (utilitare, rutiere, sport, fațade, monumente ș.a.). În situațiile în care un ambient este format din clădiri (în zone rezidențiale sau comerciale) sau din vegetație (arbori cu coroane cu volum mare) sau mixte, distribuția semidirectă (cu flux lateral) sau directă-indirectă devine necesară pentru estetica ambientală.

3.2.2. Aspecte calitative

Distribuția luminanțelor

Condiția de calitate de bază în mediul luminos exterior este distribuția luminanțelor în planul orizontal util și în câmpul vizual.

Pentru planul orizontal util, în vederea evitării orbirii psihologice, este necesară realizarea unei uniformități în limite diferite, în funcție de scopul sistemului, cu mențiunea că pentru terenurile de sport exigențele de uniformitate sunt maxime, date fiind condițiile de vedere corectă și confortabilă pentru spectatori și sportivi.

Evitarea orbirii directe fiziologice provocată de sursele de lumină, în general, se realizează folosind AIL cu unghi de protecție mare, în așa fel încât sursa să nu fie observată la unghiuri de privire normale.

În circulația rutieră problema orbirii fiziologice determinată de luminanța și numărul AIL, precum și problema orbirii psihologice determinată de neuniformitatea luminanțelor, sunt deosebit de importante pentru realizarea securității traficului în condițiile vitezelor foarte mari de deplasare a vehiculelor. Din aceste motive, modul de abordare a problemei este diferit față de rezolvarea celorlalte SIL exterior. Codurile CIE pentru iluminatul rutier cât și al spațiilor destinate sportului prezintă metode de evaluare a aspectelor complexe ale orbirii fiziologice și psihologice.

Direcționarea și modelarea

Direcționarea și modelarea SIL se realizează prin orientarea AIL cu distribuție directă către suprafața de iluminat cu unghiuri de înclinare determinate de necesitățile nivelelor de iluminare/luminanță orizontale sau verticale, pentru redarea corectă a sarcinilor vizuale (sportivi, minge, obstacole pe drumuri ș.a.).

În cazul special al iluminatului decorativ pentru structuri spațiale se asigură niveluri diferite de luminanțe pentru reliefarea subiectului.

Culoarea luminii

O condiție de calitate este culoarea luminii sub cele două aspecte: culoarea aparentă a surselor de lumină și redarea culorilor, importanța lor fiind diferită în funcție de destinația SIL considerat.

Exigențele de redare se impun SIL pentru terenurile sportive cu public sau de la care se fac transmisiuni TV. Sursa cea mai indicată este lampa cu descărcări în vapori de mercur la înaltă presiune și cu adaosuri de halogenuri metalice (MH) - cu redare și eficacitate foarte bune. Exigența de redare a culorilor este necesară și la iluminatul decorativ numai atunci când importanța obiectivului impune o redare foarte bună.

Pentru toate celelalte destinații primează eficiența sistemului (obținerea de niveluri ridicate cu consumuri energetice minime). În aceste condiții sursele de lumină cu vapori de sodiu de înaltă presiune sunt cele mai indicate și mai rar cele

cu sodiu de joasă presiune.

Opțiunea se bazează atât pe eficiență, cât și pe sensibilitatea maximă a vederii umane la culoarea galbenă a acestor surse (dominantă la înaltă presiune/ și totală la joasă presiune).

Aspecte particulare ale unor sisteme

În anumite sisteme de iluminat exterior, se impun unele condiții calitative specifice. Dintre acestea cea mai importantă este ghidajul vizual al SIL care constă în necesitatea realizării orientării vizuale prin amplasarea judicioasă a AIL. Acestea trebuie să marcheze corect (fără distorsiuni vizuale) și să faciliteze circulația rutieră, deplasarea pe traseul iluminat. Ghidajul vizual trebuie realizat atât la drumuri, tuneluri și pasaje subterane cât și la pistele de bob, schi etc.

La SIL destinate tunelurilor și pasajelor rutiere, apar două efecte specifice de:

a - grotă neagră, la intrarea în tunel, ziua, când nivelul luminanței interioare este prea mic în comparație cu cel exterior (mai mult de 1:10);

b - pâlpâire, produs de AIL montate cu discontinuități la periferia câmpului vizual.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 4
Surse electrice de lumină

Sursa electrică de lumină sau lampa electrică reprezintă un aparat care transformă energia electrică în energie luminoasă. După natura producerii radiațiilor luminoase, sursele de lumină (fig. I.4.1) se clasifică în surse cu radiații produse:
- pe cale termică (lămpi incandescente);
- prin agitație moleculară (descărcări sau câmp electromagnetic indus) grupă din care fac parte: lămpile cu descărcări în gaze sau amestecuri de gaze (neon, argon, kripton, xenon), în vapori metalici (mercur, sodiu) sau în gaze și vapori metalici cu și fără adaosuri de halogeni, lămpile fluorescente de joasă (tuburi fluorescente) și înaltă (baloane fluorescente) presiune și lămpile cu inducție.

Parametrii surselor de lumină sunt:
- tensiunea de alimentare [V] ce reprezintă tensiunea la care sursa de lumină este alimentată pentru obținerea parametrilor nominali;
- fluxul luminos [lm] ce reprezintă puterea radiată de sursă în domeniul vizibil;
- eficacitatea luminoasă [lm/W] ce reprezintă raportul dintre fluxul luminos emis de sursă și puterea absorbită de aceasta;
- durata de funcționare t_f [h] ce reprezintă timpul în care fluxul luminos al lămpii ajunge la 80 % din valoarea sa nominală;
- culoarea aparentă ce reprezintă expresia de ansamblu a impresiei de culoare când se privește o sursă de lumină;
- temperatura de culoare corelată T_{cc};
- indicele de redare a culorilor *Ra* ce reprezintă evaluarea gradului de asemănare între aspectul cromatic al obiectului iluminat de sursa considerată și acela al aceluiași obiect iluminat de un iluminant de referință, în aceleași condiții de observare caracteristice. Indicele de redare a culorilor are valoarea maximă 100;
- luminanța L [cd/m^2], a unei suprafețe luminoase elementare într-o direcție dată;
- geometria și dimensiunile.

În tabelul I.4.1 sunt prezentate câteva din caracteristicile unor lămpi fabricate de compania PHILIPS. În continuare se prezintă câteva din lămpile cele mai utilizate în tehnica iluminatului electric.

4.1. Lămpi cu incandescență

Lămpile cu incandescență, în ciuda vechimii lor, sunt folosite și în prezent pe scară foarte largă și se produc în gama cea mai variată. Sunt căutate pentru calități deosebite: culoarea ambientală caldă și redarea excelentă a culorilor.

Conversia energiei electrice în lumină se realizează prin încălzirea la incandescență a unui filament dintr-un material rezistent (wolfram) la temperaturi ridicate, închis etanș într-un balon din sticlă în care se află un mediu neutru.

4.1.1. Lămpi cu incandescență clasice (LIC)

Aceste lămpi utilizează filamentul din wolfram, funcționând la o temperatură de aproximativ 3000 K, mediul din balon fiind gaz neutru sub presiune (argon, azot, cu rol de micșorare a vitezei de evaporare a particulelor din wolfram incandescent).

Părțile componente ale unei surse incandescente (fig. I.4.2) sunt:

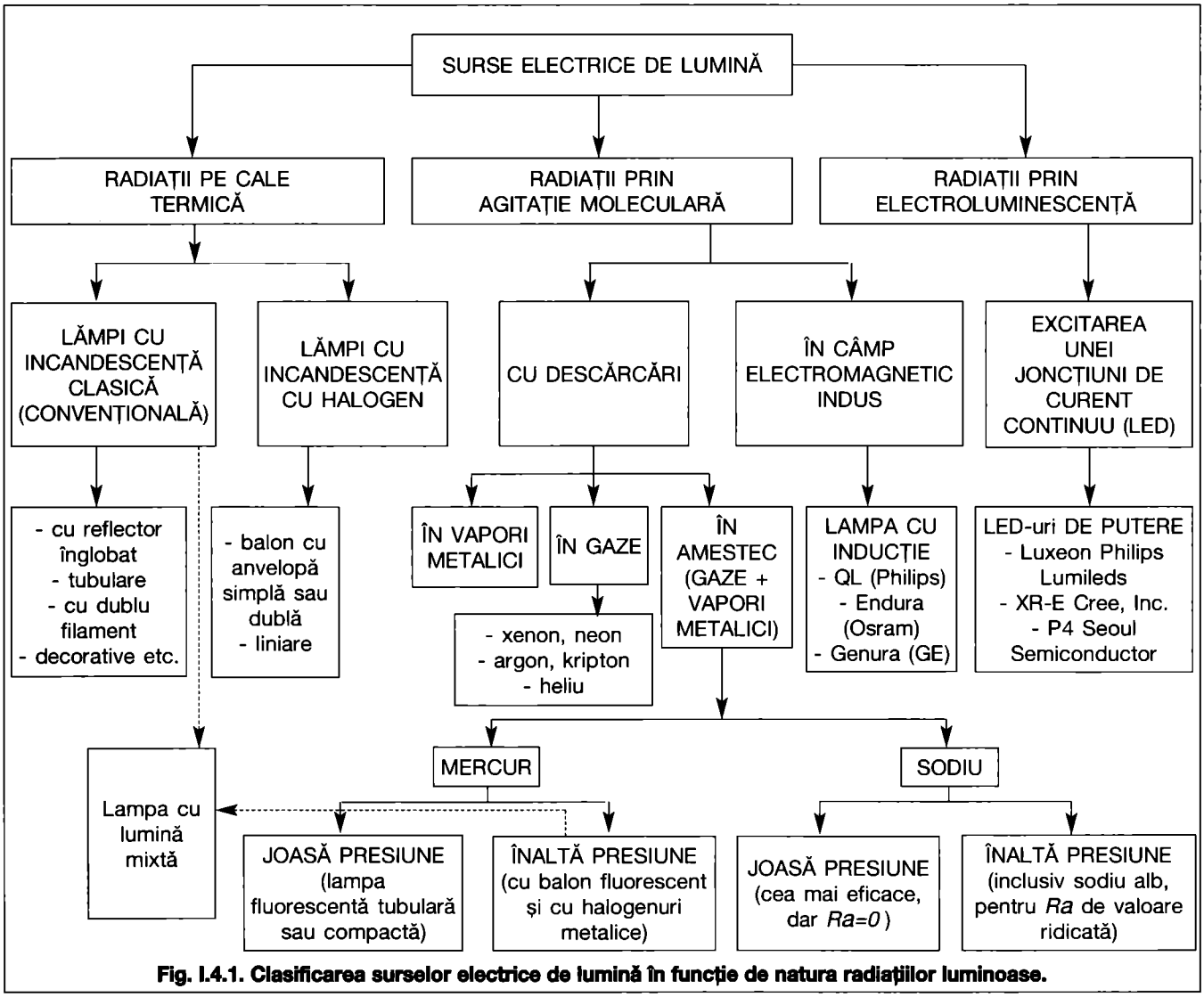


Fig. I.4.1. Clasificarea surselor electrice de lumină în funcție de natura radiațiilor luminoase.

Filamentul realizat din wolfram - metal ce are punctul de topire foarte ridicat. Acesta poate fi simplu sau dublu spiralat; radiațiile din domeniul vizibil și eficacitatea lămpii cresc cu cât temperatura filamentului este mai mare.

Balonul lămpii realizat din sticlă. Pentru lămpi ce sunt supuse la temperaturi ridicate sau la variații de temperaturi foarte mari, balonul este realizat din sticlă cu conținut de aluminosilicați sau borosilicați ce-i conferă rezistența necesară.

Există și tipuri de lămpi ce folosesc în componența lor sticlă colorată cu rol de a filtra lungimile de undă nedorite, cum este cazul lămpilor cu spectrul alb lumina zilei cu tente de albastru.

Balonul lămpii se realizează într-o gamă foarte variată de forme. Conform IEC (International Electrical Commission) codul de identificare a tipului lămpii cuprinde: o literă ce indică forma balonului și o cifră ce indică diametrul nominal în mm. O a doua sau chiar o a treia literă se poate adăuga pentru o identificare suplimentară a unor detalii.

Tipul balonului (litera de bază):
A - forma standard;
B - lumânare;
C - con (baza conului montat pe soclu);
E - ovoid;
F - flacără neregulată;
G - glob;
K - ciupercă alungită;
M - ciupercă;
P - lacrimă inversată;
R - paraboloid (folosită în special pentru balonul cu reflector încorporat);
S - con inversat;
T - tub sau cilindru;
PAR - circular.

Tipul balonului (litera suplimentară):
A - ascuțit;
C - secțiune conică la bază;
D - adâncituri, ondulații;
F - striații pe suprafața exterioară;
L - lentilă;
S - secțiune circulară la bază;
T - secțiune circulară la vârf;
X - special (fig. I.4.3.)

Balonul din sticlă poate fi supus unor tratamente ca de exemplu: mătuire, opalizare, colorare, lăcuire, oglindare.

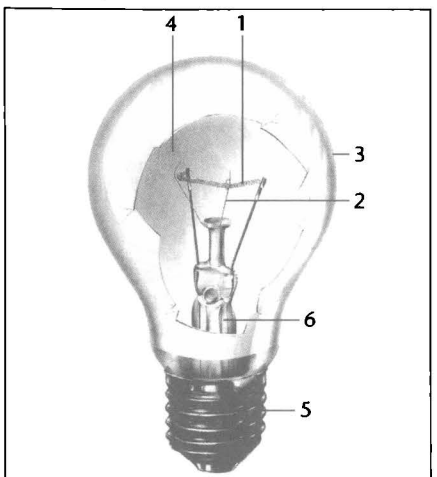


Fig. I.4.2. Lampa cu incandescență clasică.
1 - filamentul; 2 - suportul filamentului; 3 - balonul lămpii; 4 - gaz inert, de umplere; 5 - soclu cu filet sau baionetă; 6 - suport electrozi.

4.1.2. Lămpi cu ciclu regenerativ cu halogen (LIH)

Lampa cu incandescență cu ciclu regenerativ cu halogen elimină inconvenientul evaporării filamentului din W și depunerii acestuia pe pereții balonului din sticlă.

Principiul de funcționare este arătat în fig. I.4.4.

Particulele din W, rezultate din evaporarea filamentului formează cu halogenul, la temperatura de 200...300 °C (adică în zona peretelui din sticlă) o halogenură volatilă din W. Aceasta nu se poate depune pe balon ci migrează în interiorul balonului datorită curenților convectivi din acesta, astfel încât, în timp, revine în apropierea filamentului. La temperatura filamentului de aproximativ 3000 K se descompune în W (care se depune pe filament) și halogenul care revine în ciclu. Din acest motiv LIH au balonul sferic sau cilindric, în așa fel încât filamentul să se afle la egală distanță de pereții balonului.

Prin acest proces durata de funcționare a lămpii crește.

Deoarece atât temperatura balonului cât și presiunea gazului inert sunt mai mari decât la LIC, dimensiunile balonului sunt reduse, iar materialul utilizat este sticla de cuarț, rezistentă la temperatură și presiune ridicate, dar mai puțin rezistentă la acțiunea unor agenți chimici. Din acest motiv lampa cu halogen nu trebuie manipulată cu mâna. Grăsimea de pe degete este suficientă,

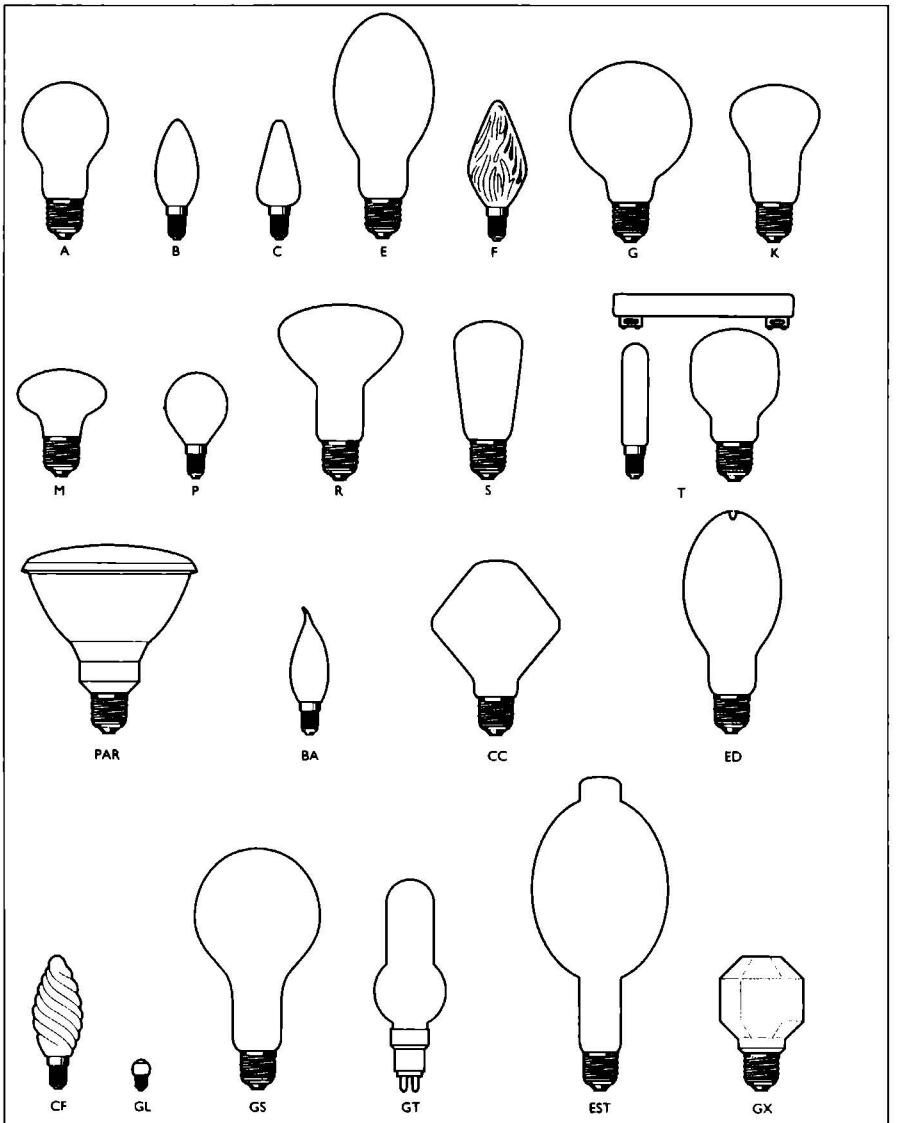


Fig. I.4.3. Principalele forme de baloane ale lămpilor incandescente.

ca la temperatura foarte mare a balonului, să ducă la distrugerea acestuia.

Reflectorul „dichroic"

Multe tipuri de lămpi incandescente, în special, cele cu ciclu regenerativ (cu halogen), sunt echipate cu așa-numitul „reflector dichroic" sau „cold-light mirror". Altele sunt prevăzute cu filtre colorate ce funcționează pe același principiu. Scopul acestuia este de a reflecta anumite radiații și de a transmite altele.

Reflectorul dichroic este alcătuit din straturi (aproximativ 20) dispuse alternativ ce conțin două materiale cu indici de refracție diferiți (fig. I.4.5).

Principiul de funcționare

Fenomenul de reflexie apare la interfețe. În funcție de grosimea stratului, unele radiații sunt transmise, altele sunt reflectate. Astfel, reflectorul reflectă radiații vizibile (380...780 nm), fluxul luminos fiind dirijat în zona de interes, în timp ce radiațiile infraroșii (800...1600 nm) sunt transmise înapoi în aparatul de iluminat. Astfel, căldura emisă - o caracteristică a sursei incandescente - este considerabil redusă în fața aparatului de iluminat, ea fiind dirijată în spatele acestuia.

Transmisia și reflexia sunt determinate de numărul de straturi, variațiile în grosimea fiecărui strat și valorile indicilor de refracție.

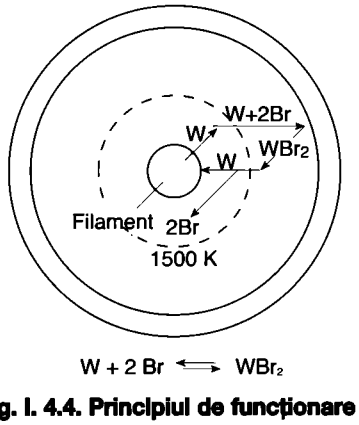


Fig. I. 4.4. Principiul de funcționare a lămpii incandescente cu ciclu regenerativ cu halogen (cu brom).

Soclul lămpii

Lămpile incandescente se execută cu soclul în următoarele variante:

- tip Edison (E 10, E 14, E 27, E 40) sau cu filet;
- tip baionetă (B 15, B 22) sau fără filet. Numărul indică diametrul soclului lămpii, [mm].

Caracteristicile lămpilor cu incandescență (clasice și cu halogen)

Lămpile cu incandescență se fabrică într-o gamă largă de puteri: 7,5...2000 W, dar cele folosite pentru iluminat au puterile între 25 și 200 W. Tensiunile de alimentare sunt de 12, 24 și 230 V.

Eficacitatea luminoasă

Este cuprinsă între 8 și 17 [lm/W] pentru lampa cu incandescență clasică (LIC) (în condițiile păstrării tensiunii la valoarea nominală). La lămpile cu ciclu regenerativ cu halogen, eficacitatea luminoasă poate ajunge la 20...30 lm/W.

Durata de funcționare

Este de aproximativ 1000 h pentru LIC și 2000 h pentru LIH. Scăderea în timp a fluxului luminos se produce datorită îmbătrânirii lămpii. După acest timp lampa trebuie înlocuită.

Durata de viață a unei lămpi este timpul după care aceasta are fluxul zero (se întrerupe filamentul, se fisurează balonul de sticlă și pătrunde aer în balon, aer care provoacă arderea imediată a filamentului).

Lămpile incandescente au durata de funcționare aproape egală cu durata de viață, astfel că schimbarea acestor surse se face, de regulă, în momentul în care acestea nu mai emit flux luminos.

Datorită eficacității luminoase scăzute și a duratei de funcționare reduse, Comunitatea Europeană își propune reducerea la minimum a utilizării lămpilor cu incandescență clasice, urmând ca în decurs de câțiva ani să fie gradat eliminate complet din sistemele de iluminat.

Redarea culorilor

Lampa cu incandescență clasică se caracterizează printr-un spectru luminos agreabil, bogat în radiații calde. Ea permite realizarea unei ambianțe în care redarea culorilor este excelentă. Indicele de redare este apropiat de valoarea maximă *Ra=100.*

De asemenea, inerția termică și luminoasă a filamentului fac ca variația curentului alternativ să nu fie sesizabilă, ceea ce conduce la un mediu plăcut, odihnitor, care nu agresează ochiul.

Luminanța

Valoarea ei este ridicată, fiind de $7 \cdot 10^6$ cd/m^2, dar poate fi diminuată prin utilizarea sticlei mate sau opale ($3 \cdot 10^4$ cd/m^2), atunci când sursa este vizibilă.

Deprecierea în timp a lămpii cu incandescență clasice

Există două motive pentru care fluxul luminos al unei lămpi incandescente clasice descrește în timp. Primul constă în evaporarea filamentului care devine mai subțire. Cel de-al doilea motiv îl constituie depunerea W pe pereții balonului din sticlă, ceea ce duce la formarea unui strat absorbant pe pereții interiori ai lămpii (având ca efect scăderea puternică a eficacității luminoase). Aceste inconveniente sunt eliminate, parțial, la lampa cu ciclul regenerativ cu halogen.

Caracteristicile lămpilor incandescente sunt mult influențate de tensiunea de alimentare la care funcționează (fig. I.4.6).

Lămpile cu incandescență clasice se pot utiliza și în instalații a căror tensiune de alimentare este variabilă, în scopul modificării fluxului luminos, obținându-se astfel un nivel de iluminare corespunzător cerințelor din încăperea

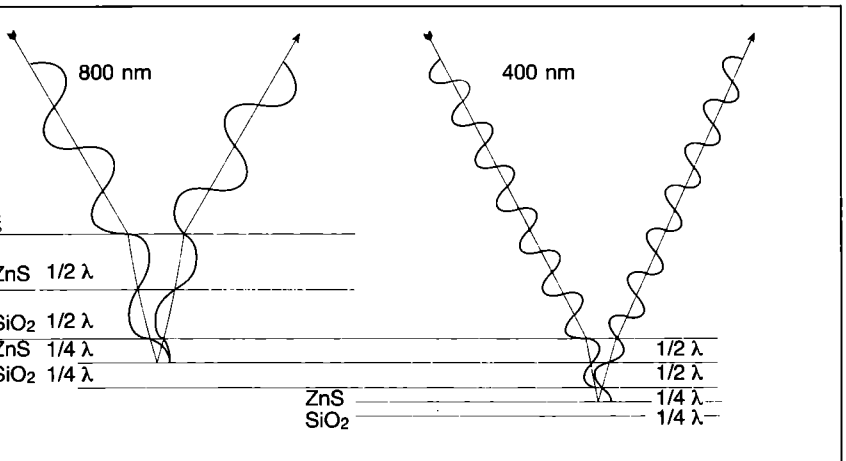


Fig. I.4.5. Principiul de funcționare a reflectorului „dichroic"

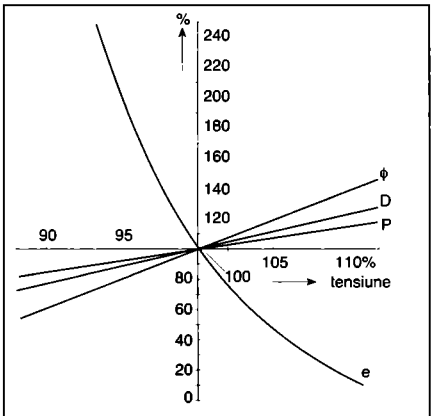


Fig. I.4.6. Diagramă ce indică efectul variației tensiunii de alimentare asupra duratei de funcționare (D), fluxului luminos (Φ), eficacității luminoase (e), puterii disipate (P) ca procente din valorile lor nominale.

respectivă (în cazul sistemelor de iluminat interior). Astfel, o reducere a tensiunii de alimentare conduce la scăderea temperaturii filamentului, a temperaturii de culoare, a eficacității luminoase, dar la creșterea duratei de funcționare.

Lampa cu ciclu regenerativ cu halogen poate fi, de asemenea, utilizată în astfel de cazuri, dar, sub o anumită valoare, lampa se răcește astfel încât ciclul regenerativ încetează. De aici, lampa cu ciclu regenerativ se va comporta ca o lampă clasică, obișnuită. Datorită dimensiunilor mici efectul de înnegrire a pereților lămpii este mai accentuat. De aceea, este de recomandat ca folosirea lămpii cu halogen să nu se facă sub o anumită valoare a tensiunii într-un circuit cu o micșorare prelungită a tensiunii.

Domenii de utilizare

Datorită simplității sale, a calităților sale de confort și culoare, datorită posibilității de conectare directă, lampa cu incandescență poate fi utilizată pentru:

- iluminatul din:
  - locuințe, hoteluri, săli de spectacol clasice, iluminatul local industrial (unde sunt cerințe de redare a culorilor);
  - muzee, studiouri, încăperi cu timp de utilizare redus;
  - iluminatul de siguranță;
- semnalizări:
  - pe panourile de semnalizare,
  - tablouri de comandă,
  - lifturi (accentul punându-se pe semnalizarea funcționării și nu pe iluminatul mediului înconjurător);
- iluminatul decorativ (în care se folosesc mai ales lămpile miniatură);
- medii speciale cu temperatură ridicată, cu particule de apă pulverizată, în care sursele sunt supuse unor șocuri de temperatură și impactului cu diferite particule;
- aplicații speciale: la farurile auto, ale bicicletelor, la lanterne, instrumente optice, echipamente medicale, pentru fibrele optice, semafoare, pentru iluminatul mijloacelor de transport;
- domeniul foto: pentru proiectoare, pentru iluminatul studiourilor;
- radiator de infraroșii (în scopuri medicale, uscare, coacere etc.).

Conform Directivei 2005/32/EC, datorită performanțelor energetice (randament, eficacitate luminoasă) reduse, în raport cu alte tipuri de lămpi, lămpile cu incandescență clasice vor fi scoase din uz în Uniunea Europeană între septembrie 2009 și septembrie 2012.

4.2. Lămpi fluorescente

Sunt lămpi cu descărcări în vapori de mercur, cu sau fără adaosuri de gaze. Radiațiile luminoase sunt obținute în cea mai mare parte nu datorită fenomenului de descărcare ci celui de fluorescență, produs de o substanță (luminofor) plasată pe fața interioară a acestora.

Lămpile fluorescente clasice sunt lămpi cu descărcare în vapori de mercur de înaltă sau joasă presiune. Descărcarea electrică în astfel de medii este foarte bogată în radiații ultraviolete. Pentru obținerea radiațiilor luminoase se folosește o substanță fotoluminescentă denumită luminofor.

Stratul de luminofor (care acoperă pereții din sticlă la interior) are rolul de a realiza conversia energiei emise în spectrul U.V. în energie în spectrul vizibil, îndeplinind următoarele condiții: randament bun al conversiei, transparență la radiațiile vizibile, rezistență în timp la iradiere, rezistență la șocuri de iradiere produse de conectări - deconectări frecvente. Compoziția stratului de luminofor determină culoarea lămpii și, totodată, valoarea indicelui de redare a culorilor.

Amorsarea descărcării se realizează la lămpile cu descărcări prin: supratensiune (șoc de tensiune), scăderea lentă, prin ionizare, a rezistenței mediului de descărcare sau prin combinarea celor două sisteme.

Pentru stabilizarea descărcării este utilizată o bobină *(balastul)*. Acesta trebuie să îndeplinească următoarele condiții: să asigure stabilizarea descărcării, să prezinte un factor de putere ridicat, să aibă un procentaj scăzut de armonici, să fie echipat cu sisteme de atenuare a paraziților radio sau TV, să prezinte o funcționare silențioasă într-un timp de viață cât mai îndelungat. Tipurile de balasturi clasice pot fi înlocuite cu unele electronice prevăzute cu convertor de frecvență (până la 20 kHz). Mărirea frecvenței conduce la eliminarea fenomenului de *pâlpâire*, caracteristic lămpilor cu descărcări alimentate în curent alternativ la frecvența de 50 Hz.

4.2.1. Lămpi fluorescente tubulare

Acestea (fig. I.4.7) sunt lămpi cu descărcări în vapori de mercur la joasă presiune.

Descărcarea în lampa fluorescentă

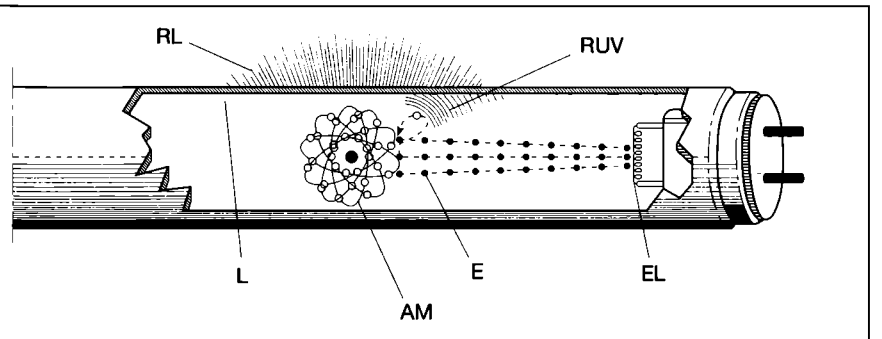


Fig. I.4.7. Lampa fluorescentă tubulară.
EL - electrod; E - electroni; AM - atom de mercur; L - luminofor; RUV - radiații ultraviolete; RL - radiații luminoase.

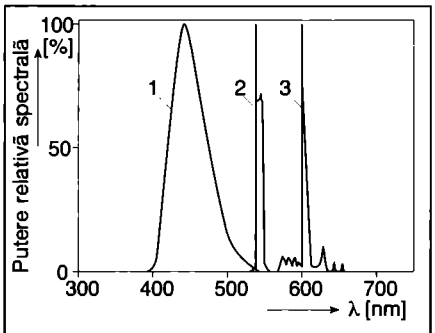


Fig. I.4.8. Componența stratului fluorescent:
1 - aluminat de bariu și magneziu; 2 - borat de magneziu; 3 - oxid de ytriu.

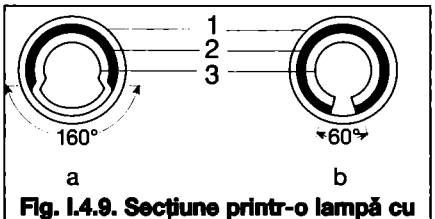


Fig. I.4.9. Secțiune printr-o lampă cu reflector (a) și cu fantă (b):
1 - tub de sticlă; 2 - stratul reflector; 3 - stratul luminofor.

Tabelul I.4.2. Diametre și lungimi ale tuburilor fluorescente (exemple)

Putere [W]	4	6	8	13	14	15	16	18	20	30	36	38	40	58	65
Tip soclu	B5	B5	B5	B13	B13	B13	B13	B13	B13	B13	B13	B13	B13	B13	B13
Diam. [mm]	16	16	16	16	26	26	26	26	38	26	26	26	38	26	38
Lungime [mm]	136	212	288	517	360	437	590	590	590	895	1200	1047	1200	1500	1500

este de tipul „coloanei pozitive", majoritatea radiațiilor (95 %) producându-se în spectrul ultraviolet (pe benzile: 253,7 și 185 nm) și 5 % în spectrul vizibil.

Dimensiunile tubului și ale diametrelor sunt tipizate (tab. I.4.2).

Se execută și lămpi fluorescente cu tubul de formă toroidală cu diametrul de 32 mm, torul având diametrul de 305 mm pentru lampa de 32 W și 406 mm pentru lampa de 40 W. Se montează în aparate de iluminat speciale. Lămpile sunt echipate cu două socluri, câte unul în fiecare capăt al lămpii, prevăzut cu terminații bipolare pentru electrozii de capăt; cifra soclului (ex. B13) reprezintă distanța [mm] dintre conexiuni.

Stratul de luminofor

Compoziția acestuia determină caracteristicile luminoase ale lămpii: temperatura de culoare, indicele de redare a culorilor (*Ra*) și eficacitatea luminoasă.

În compoziția luminoforului intră săruri complexe, substanțe denumite activatori (cu rol de a asigura inițierea și activarea radiațiilor luminoase) și lianți.

De exemplu, în gama de culoare 80 Philips, în componența stratului fluorescent, intră: aluminat de bariu și magneziu, borat de magneziu și oxid de ytriu, fiecare având emisia maximă la lungimea de undă de: 447, 542 și, respectiv, 610 nm (fig. I 4.8).

Eficacitatea luminoasă a lămpii fluorescente depinde și de alți factori cum ar fi, de exemplu: grosimea stratului fluorescent, uniformitatea și finețea sa.

Există însă și alte straturi, cu roluri diferite, aplicate pe suprafața tubului astfel:
- silicon - ce se aplică în exteriorul lămpii în vederea prevenirii problemelor de punere în funcțiune în medii cu umiditate mare;
- conductor - dioxid de indiu sau de staniu aplicat între stratul fluorescent și peretele din sticlă pentru a permite punerea în funcțiune a lămpii și la variații mari de temperatură;
- reflector (pentru lampa cu reflector înglobat) format din dioxid de aluminiu; este un strat opac, alb, aplicat între stratul fluorescent și pereții tubului. Acesta nu se aplică pe toată suprafața tubului (fig. I.4.9 a), pe restul suprafeței fiind aplicat numai luminoforul. Astfel tubul emite flux luminos într-un unghi solid redus. Fluxul luminos este emis prin suprafața prevăzută cu strat de luminofor.

Se execută și lămpi ce au prevăzută o fantă, cu rol de dirijare a fluxului luminos într-un unghi solid foarte mic (pe suprafața fantei nu este prevăzut luminofor - fig. I.4.9 b).

Electrozii

Sunt realizați dintr-un material emisiv ce furnizează electronii necesari descărcării. Din punct de vedere constructiv, electrozii sunt alcătuiți dintr-un filament din wolfram acoperit cu un strat emisiv ce eliberează electroni atunci când electrodul este încălzit la 800 °C. Cel mai bun material emisiv utilizat pe scară largă este amestecul de oxid de bariu, stronțiu și calciu.

Amorsarea lămpilor fluorescente utilizează în majoritatea cazurilor șocul de tensiune cu ajutorul unui starter pe fondul scăderii rezistenței interioare a tubului, datorită preîncălzirii electrozilor și ionizării spațiului dintre electrozi. Astfel, lampa tip LFA (lampa fluorescentă cu electroni preîncălziți) utilizează acest sistem. Lămpile de tip LFR (cu aprindere rapidă) folosesc șocul de tensiune, realizat prin intermediul unui balast cu rezonanță de tensiune.

Gazul de umplere

Se utilizează un gaz inert ale cărui funcții sunt:
- controlul asupra vitezei electronilor eliberați în descărcare (în caz contrar s-ar produce mai degrabă ionizarea decât excitarea atomilor de mercur);
- prelungirea vieții electrodului prin reducerea evaporării materialului emisiv ca rezultat al unui bombardament prea intens;
- amorsarea lămpii.

Cel mai uzual gaz este argonul care este amestecat cu neon în proporție de până la 25 % în scopul asigurării vitezei optime a electronilor emiși.

Eficacitatea luminoasă

Aceasta poate fi:
- a sursei $e=\Phi/P_{sursa}$ [lm/W],
- globală $e=\Phi/(P_{sursa}+P_{balast})$ [lm/W].

La lămpile fluorescente elementul de referință este eficacitatea luminoasă globală. Uzual, pentru o lampă fluorescentă *e=40...105* lm/W.

Culoarea aparentă și redarea culorilor

Gama de culori ale lămpilor fluorescente este foarte variată datorită diferitelor rețete de pulberi ale luminoforului.

Temperatura de culoare variază între 2700 și 6500 K. CIE a sugerat clasificarea următoare a culorilor și temperaturilor de culoare:

culoarea aparentă	temp. de culoare [K]
alb-cald	3000
alb	3500
alb-rece	4200
alb lumina zilei	6500

În general, alegerea temperaturii de culoare se face în funcție de nivelul de iluminare recomandat și de destinația spațiului de iluminat. Se pot obține ambianțe calde la valori ale temperaturii de culoare de *2700...3000* K, ambianțe neutre la valori de *3000...5300* K și ambianțe reci la valori de *5300...6500* K.

Calitatea luminii este dată de posibilitatea distingerii corecte a culorilor.

Indicele de redare a culorilor variază între valorile 51...98 în funcție de fabricant și de tipul de lampă (tab.I.4.4).

Se fabrică și lămpi cu emisie monocromă pentru iluminatul decorativ.

Lămpile, în funcție de caracteristicile lor, se folosesc în diferite aplicații:
- *Ra<80* (oferă o redare moderată) - sunt folosite în iluminatul exterior, activități industriale unde nu sunt cerințe mari de redare a culorilor,
- *80<Ra<90* (oferă o redare bună) - sunt folosite în activități comerciale, sociale, locuințe,
- *Ra>90* (oferă o redare foarte bună) -

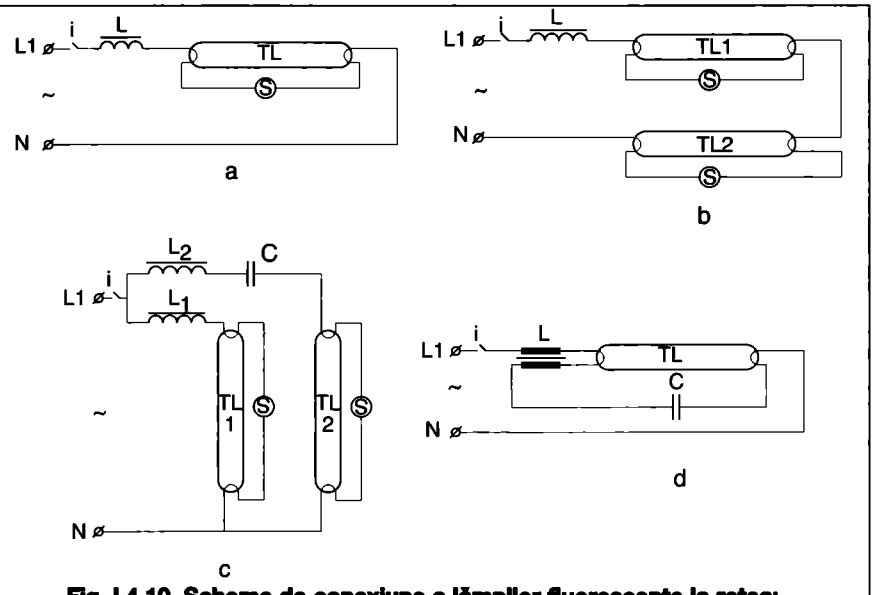


Fig. I.4.10. Scheme de conexiune a lămpilor fluorescente la rețea:
a - cu balast inductiv; b - montare tandem; c - duo balast; d - montare cu rezonanță de tensiune (amorsare rapidă).
L1 - faza sursei; N - neutrul sursei; TL - tub luminos; S - starter; L - bobină (balast); C - condensator; i - întreruptor.

sunt folosite acolo unde sunt cerințe mari de redare a culorilor - muzee, spitale (cabinete medicale), anumite magazine, studiouri grafice, ateliere foto etc.

În tabelele I.4.3. și I.4.4. sunt date câteva din caracteristicile lămpilor fluorescente.

Deprecierea lămpii

Sfârșitul perioadei de funcționare a unei lămpi este marcat de pornirea temporizată a acesteia și înnegrirea pereților tubului datorită evaporării filamentului. Acest proces de îmbătrânire a lămpii este accelerat de o insuficientă preîncălzire a electrozilor sau de punerea și scoaterea în/din funcțiune repetată.

Deprecierea lămpii se datorează, în principal, stratului de luminofor care, datorită iradierii, devine mai puțin eficace, procentul de radiații UV transformate în radiații vizibile fiind din ce în ce mai mic.

Factorul de putere

Deoarece circuitul de alimentare a lămpii este inductiv (datorită balastului și descărcării în arc) este necesară o îmbunătățire locală a factorului de putere cu ajutorul unui condensator static.

Valoarea factorului de putere ameliorat pentru sursele fluorescente montate în aparate de iluminat este, de regulă, 0,95.

Luminanța sursei

Are valori sub $3 \cdot 10^4$ cd/m^2, ceea ce nu determină senzații supărătoare la privirea lor directă, în comparație cu cea a lămpii incandescente.

Timpul de reamorsare

Este de maximum 3...5 s la cele cu starter și instantaneu, la cele fără starter.

Reglarea fluxului lămpii fluorescente

Aceasta se realizează la lămpile fluorescente cu ajutorul unui sistem cu tiristor sau variator de frecvență.

Reglarea fluxului lămpii, cu balast clasic, se poate face până la o valoare de 50 % din valoarea curentului electric din tub, valoare sub care descărcarea nu mai asigură căldura suficientă pentru electrozii lămpii.

Cu regulatorul electronic de frecvență

Tabelul I.4.3. Caracteristicile tuburilor fluorescente fabricate în România

Temperatura de culoare [K]	6500		4300		2900		4000
Tipul	1	1x	2	2x	3	3x	-
Tip de culoare	alb lumina zilei	alb lumina zilei	alb	alb de lux	alb cald	alb cald de lux	alb „noua generație“
Culoarea aparentă	rece	rece	neutră	neutră	caldă	caldă (plăcută)	caldă
Redarea culorilor	slabă	ameliorată față de (1)	acceptabilă	foarte bună	slabă	acceptabilă	foarte bună
Eficacitatea luminoasă [lm/W]	57,5	53,75	67,5	46,25	70	44,75	80

Tabelul I.4.4. Caracteristicile tuburilor fluorescente PHILIPS

Clasificare culoare	Limitele pentru indicele de redare a culorilor *Ra*	Cod de culoare PHILIPS	Temp. de culoare [K]	Indice de redare a culorilor (*Ra*)	Eficacitatea luminoasă [lm/W]
alb-cald	*Ra* < 80	29	2900	51	83
	80 < *Ra* < 90	32	2900	87	49
		82	2700	81	90
		83	2900	82	96
	Ra > 90	27	2700	94	44
		92	2700	94	63
		93	3000	95	64
alb	*Ra* < 80	35	3400	57	76
		79 (lămpi cu aplicații speciale)	3800	72	47
	80 < *Ra* < 90	36	3700	84	42
	Ra > 90	34	3800	91	53
		94	3800	96	65
alb-rece	*Ra* < 80	33	4100	63	83
		25	4100	70	62
	80 < *Ra* < 90	84	4000	80	96
		85	5000	80	92
	Ra > 90	37	4100	96	46
		47	5000	96	46
		95	5300	98	65
alb lumina zilei	*Ra* < 80	54	6200	72	69
		86	6300	77	90
		89 (lămpi cu aplicații speciale)	10000	70	69
	Ra > 90	55	6300	95	50
		96	6500	98	64
		57	7300	94	45

variabilă intensitatea curentului electric din lampă poate fi diminuat până la 10 % din valoarea nominală.

Funcționarea și legarea la rețea

În funcție de tipul balastului, durata de funcționare poate să fie: *6000* h, *7000* h putând ajunge până la *10000* h.

În fig. I.4.10 sunt prezentate cele mai folosite soluții de legare la rețea a lămpilor fluorescente.

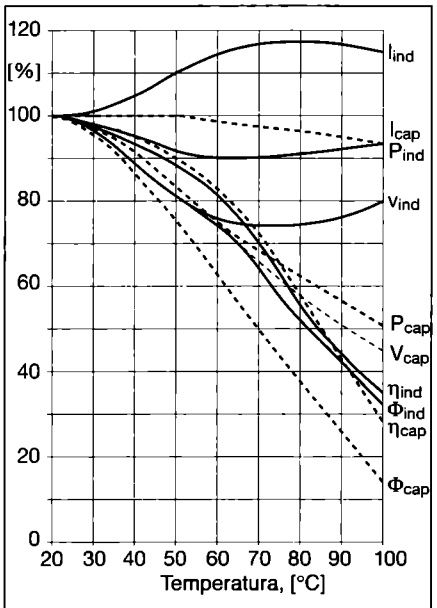


Fig. I.4.11. Variația caracteristicilor lămpii fluorescente de 40W.
I - curent; Φ - flux; V - tensiunea pe tub; P - puterea absorbită de lampă; η - randamentul luminos pentru toate caracteristicile: în montaj inductiv (ind) și capacitiv (cap).

Aprinderea lămpii

La punerea sub tensiune (fig. I.4.10 a) între electrozii tubului nu se poate produce descărcarea electrică, rezistența dintre aceștia fiind foarte mare. Între electrozi trece un curent mic de conducție datorită ionizării naturale din tub. Starterul este o lampă cu descărcări în licărire ce are doi electrozi, unul dintre aceștia fiind bimetalic. În prima fază a aprinderii, la punerea sub tensiune, între electrozii starterului are loc o descărcare ce produce încălzirea electrozilor acestuia. Electrodul bimetalic se deformează, apropiindu-se de celălalt. Faza se încheie când cei doi electrozi intră în contact, moment în care începe faza a doua a aprinderii. Electrozii starterului se află în contact, astfel că rezistența dintre aceștia se micșorează foarte mult (până la rezistența de contact) încât curentul prin electrozii tubului crește semnificativ. Electrozii tubului se încălzesc până la incandescență ceea ce conduce la o puternică ionizare a mediului din tub, ce ajunge la saturație. În această fază electrozii starterului nemaifiind sub acțiunea termică a arcului electric se răcesc. Ultima fază a aprinderii începe în momentul în care electrodul bimetalic al starterului se îndepărtează brusc de celălalt. Întreruperea curentului din circuit produce o tensiune electromotoare de autoinducție ce se suprapune pe tensiunea rețelei astfel că are loc descărcarea electrică între electrozii tubului (rezistența dintre aceștia fiind redusă datorită încălzirii și ionizării). Este posibil ca cele două tensiuni, a rețelei și cea de autoinducție, să nu aibă același semn încât între electrozii tubului să nu crească tensiunea. În acest caz descărcarea în tub nu se produce și se reia aprinderea cu prima fază. Ciclul se repetă până la realizarea descărcării în tub.

Influența temperaturii mediului ambiant asupra caracteristicilor unei lămpi fluorescente de 40 W în montaj inductiv (ind) și capacitiv (cap) este redată în fig. I.4.11.

În ultimii ani balastul lămpilor fluorescente a fost înlocuit cu un balast electronic.

Acesta are următoarele avantaje:
- putere asbsorbită mică, sub 5 W;
- timp de aprindere foarte scurt - circa 1 secundă.

Dezavantajul balasturilor electronice constă în aceea că introduc armonici superioare ce deformează puternic rețeaua.

4.2.2. Lămpi fluorescente compacte

Din punct de vedere al principiului de funcționare lampa fluorescentă compactă este identică cu cea tubulară. Descărcarea se produce într-un tub șicanat, de dimensiuni mult mai mici. Echipamentul anex de punere în funcțiune și stabilizare a descărcării este montat în interiorul soclului lămpii.

Din punct de vedere constructiv, lămpile fluorescente compacte sunt:
- direct interschimbabile cu lămpile incandescente, soclul fiind de tip Edison (E), fig. I.4.12 a;
- lămpi cu soclul tip baionetă (B), fig. I.4.12 b.

Tubul de descărcare poate fi direct vizibil, protejat în globuri sau cilindrii, clari sau opalescenți, fig. I.4.12 c.

Timpul de funcționare

Timpul de funcționare garantat de producători este de regulă, de la *8000* la *10.000* h.

Eficacitatea luminoasă

La aceeași valoare a fluxului luminos emis, lampa fluorescentă compactă consumă de 4...5 ori mai puțină energie decât lampa cu incandescență clasică (tab.I.4.5).

Luminanța sursei fluorescente compacte este acceptabilă fiind mai mică

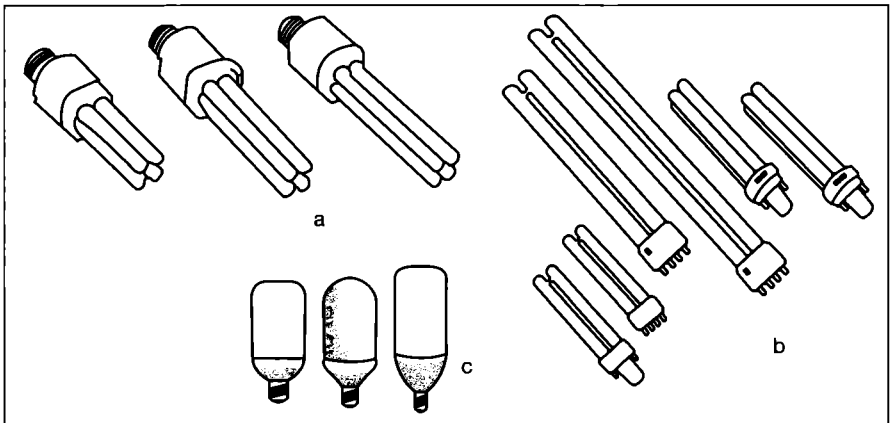


Fig. I.4.12. Tipuri de surse fluorescente compacte:
a - cu soclu tip Edison; b - cu soclu tip baionetă; c - cu tuburile protejate.

Tabelul I.4.5. Caracteristicile luminotehnice ale lămpilor fluorescente compacte.

soclu tip Edison								
P [W]	9	11	13	15	18	20	23	25
Φ [lm]	350	400	550	800	850	1100	1400	1500
e [lm/W]	39	36	42	53	47	55	61	60

soclu tip baionetă												
P [W]	5	7	9	10	11	13	18	24	26	32	40	55
Φ [lm]	250	400	600	600	900	900	1200	1600	1800	2400	2500	4800
e [lm/W]	50	57	67	60	82	69	67	67	69	75	87	87

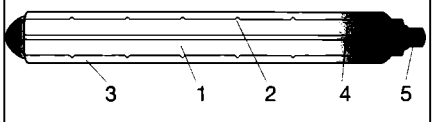


Fig. I.4.13. Lampa cu vapori de sodiu la joasă presiune:
1 - tub de descărcare; 2 - adâncituri ce conțin sodiu; 3 - tub exterior; 4 - electrod; 5 - soclu.

de $3 \cdot 10^4$ cd/m^2, fără a provoca o senzație de inconfort.

Aceste lămpi vor înlocui lămpile incandescente clasice, care vor ieși din uz în Uniunea Europeană între 2009 și 2012.

4.3. Lămpi cu descărcări în vapori de sodiu la joasă presiune

Lampa cu descărcări în vapori de sodiu la joasă presiune este prezentată în fig. I.4.13. Radiațiile luminoase sunt produse direct de descărcarea în vaporii de sodiu.

Tubul de descărcare

Este confecționat din sticlă clară tratată pentru a fi rezistent la solicitări termice și mecanice.

Tubul de descărcare este prevăzut cu mici adâncituri unde este depus sodiul. Aceste spații sunt mai reci decât restul suprafețelor, fapt ce determină condensarea sodiului în procesul de răcire după ce sursa a fost scoasă din funcțiune. În cazul în care aceste adâncituri n-ar exista, sodiul ar putea condensa oriunde pe pereții tubului fapt ce ar conduce la formarea unui strat ce ar absorbi o parte din fluxul luminos emis de lampă, scăzându-i astfel eficacitatea luminoasă.

Gazul de umplere

Amestecul este format din 99 % neon și 1 % argon, la o presiune în stare de nefuncționare a lămpii de *1000* Pa. Neonul are rolul de amorsare a lămpii, iar argonul are rolul de a forma cu neonul un amestec de gaze ce inițializează descărcarea la o tensiune de numai *500... 1500* V, în funcție de tipul lămpii.

În mod normal, fiecare adâncitură este umplută cu 75 mg de sodiu. În primele minute ale funcționării, din cauza neonului, culoarea lămpii este roșu-oranj, culoare care dispare după amorsare. Lampa intră în funcționare normală după 10 min.

Electrozii

Sunt din wolfram. Ca material emisiv depus pe electrozi se folosesc oxizii de bariu, stronțiu sau calciu.

Tubul exterior

Pentru a menține temperatura de 260 °C, pentru evaporarea în condiții optime a sodiului, este necesar ca tubul exterior să asigure o izolație termică bună. Pe suprafața lui interioară se depune un strat de oxid de indiu, cu rol de a reflecta radiațiile infraroșii înspre tubul de descărcare, păstrând constantă temperatura necesară procesului. Există și lămpi cu sodiu de joasă presiune cu tubul de descărcare sub formă liniară, de fabricație PHILIPS (denumite SLI). Acestea diferă atât prin caracteristici cât și prin faptul că electrozii trebuie preîncălziți.

Caracteristicile lămpii

Aproximativ o treime din puterea consumată este convertită în radiații vizibile. Restul îl reprezintă „pierderi" sub formă de căldură, marea majoritate prin convecție și conducție.

Culoarea aparentă și redarea culorilor

Lampa cu vapori de sodiu de joasă presiune are temperatura de culoare de 1700 K și emite o radiație monocromatică (589 nm). De aceea, nu se poate vorbi de o redare a culorilor la acest tip de sursă, astfel că $Ra=0$.

Eficacitatea luminoasă

Este de 100...200 lm/W. Emisia radiațiilor vizibile se face în apropierea domeniului ce corespunde eficacității luminoase relative spectrale maxime ($V_\lambda=1$, fig. I.4.14).

La această sursă nu se poate realiza o reglare fină a fluxului luminos.

Influența temperaturii mediului exterior

Datorită izolării termice bune, lampa cu descărcări în vapori de sodiu de joasă presiune nu este influențată, practic, de variațiile de temperatură. Totuși, amorsarea lămpii este influența tă negativ la o temperatură mai mică de -30 °C.

Poziția de funcționare

Este recomandată de fabricant. Utilizarea lămpii într-o altă poziție reduce durata de funcționare și eficacitatea luminoasă a acesteia deoarece sodiul nu mai condensează în spațiile prevăzute.

În fig. I 4.15 se pot urmări pozițiile de funcționare pentru lămpile PHILIPS SOX și SOX-E.

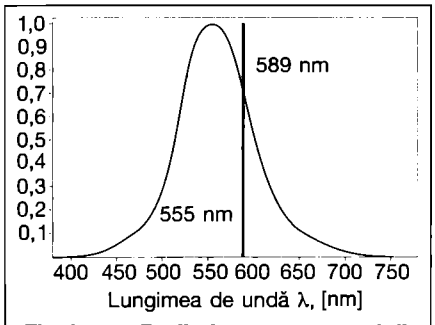


Fig. I.4.14. Radiația monocromatică a lămpii cu vapori de sodiu(λ=589 nm) la joasă presiune are o eficacitate luminoasă relativă spectrală de 0,77.

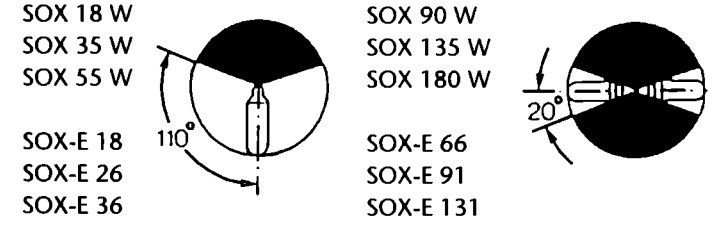


Fig. I.4.15. Poziția de funcționare la lămpile cu descărcări în vapori de sodiu la joasă presiune (SOX și SOX-E produse de PHILIPS).

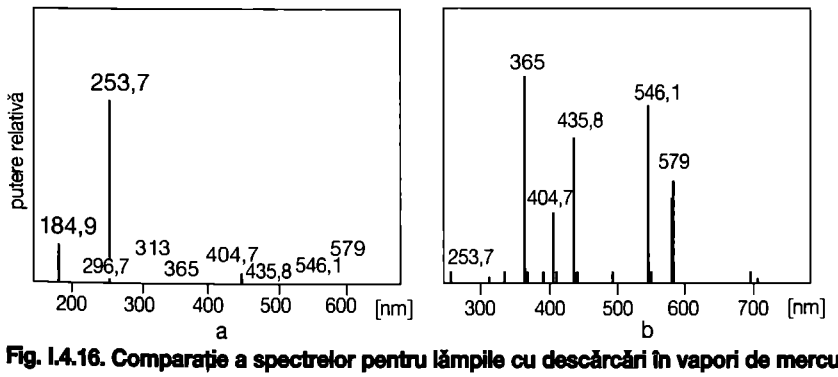


Fig. I.4.16. Comparație a spectrelor pentru lămpile cu descărcări în vapori de mercur:
a - la joasă presiune;
b - la înaltă presiune.

4.4. Lămpi cu descărcări în vapori de mercur la înaltă presiune

Acestea pot fi:
- cu sticlă clară sau strat fluorescent;
- cu adaosuri de halogenuri metalice.

Lămpile cu descărcări în vapori de mercur la înaltă presiune cu sticlă clară sau strat fluorescent

S-a constatat că, odată cu creșterea presiunii mercurului din tub, se obține o eficacitate luminoasă mai mare, prin creșterea emisiei radiației în domeniul vizibil și micșorarea celei în domeniul ultraviolet. O comparație a spectrului de emisie între lămpile cu descărcări în vapori de mercur de joasă presiune (a) și cele de înaltă presiune (b) poate fi urmărită în fig. I.4.16.

La acest tip de lampă descărcarea are loc într-un tub din cuarț. O parte

din radiația emisă se găsește în domeniul vizibil iar o altă parte în domeniul ultraviolet. De aceea lampa poate fi prevăzută și cu un strat fluorescent cu rol de convertire a radiațiilor UV în radiații vizibile (în acest caz eficacitatea crește).

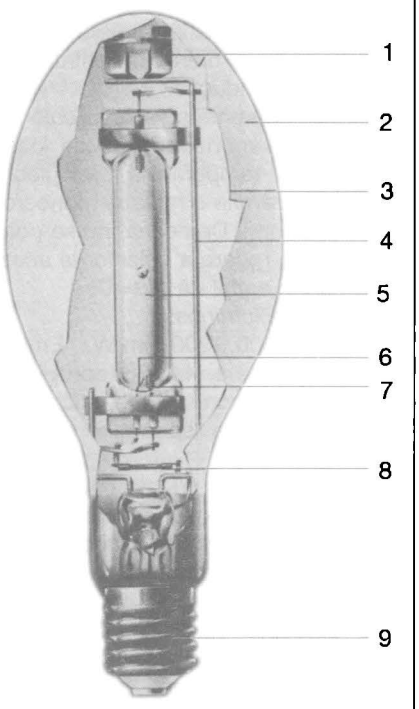


Fig. I.4.17. Lampa cu descărcări în vapori de mercur la înaltă presiune: 1 - inel de susținere; 2 - balon din sticlă clară; 3 - înveliș interior; 4 - suporturi conductoare; 5 - tubul de descărcare; 6 - electrod auxiliar; 7 - electrozi principali; 8 - rezistență; 9 - soclu.

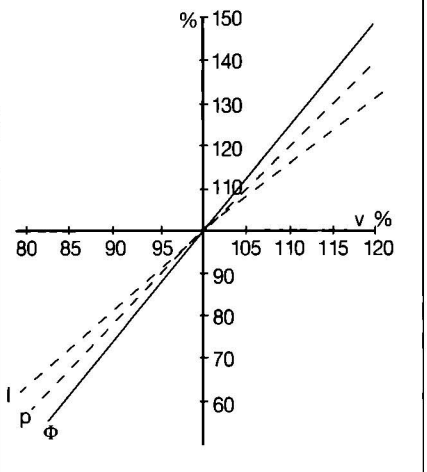


Fig. I.4.18. Variația procentuală a caracteristicilor lămpii cu vapori de mercur în funcție de tensiune: I - intensitatea; P - puterea; ϕ - fluxul luminos; V - tensiunea.

Părțile componente ale lămpii pot fi urmărite în fig. I.4.17.

Aprinderea lămpii se realizează cu ajutorul electrodului auxiliar. Acesta este conectat la electrodul opus prin intermediul unei rezistențe de aproximativ 4000 Ω. Astfel, la punerea sub tensiune, între electrodul principal și cel auxiliar alăturat lui (de regulă aceștia sunt spiralați împreună încât distanța dintre ei este foarte mică - diviziuni de milimetru), au loc descărcări electrice. Acestea încălzesc tubul și ionizează atmosfera din el până la saturație, moment în care descărcarea se produce între electrozii principali - deoarece rezistența dintre ei este mult inferioară celei de 4000 Ω aflată pe circuitul electrod principal-electrod auxiliar.

Parametrii nominali ai lămpii se obțin după câteva minute, atunci când mercurul s-a evaporat complet. Variația caracteristicilor (intensitatea curentului electric, puterea lămpii, fluxul) cu tensiunea de alimentare poate fi urmărită în fig. I.4.18.

Lămpi cu descărcări în vapori de mercur la înaltă presiune cu adaosuri de halogenuri metalice (metal halide - MH)

Pentru a se modifica spectrul radiațiilor emise de lampa cu vapori de mercur de înaltă presiune în culori calde s-a ajuns la introducerea unor elemente metalice în tubul de descărcare. Folosirea unor halogenuri metalice (ioduri, bromuri, fluoruri), de sodiu, taliu sau indiu ce produc radiații în spectrul galben, verde și, respectiv, albastru, spectrul luminos ale acestor lămpi se îmbunătățește foarte mult oferind o bună redare a culorilor:

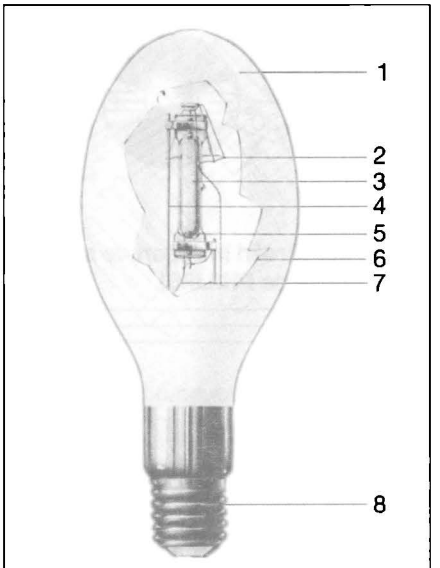


Fig. I.4.19. Lampa cu lumină mixtă: 1 - balonul, 2 - filamentul, 3 - tubul de descărcare, 4 - suportul filamentului, 5 - electrodul principal, 6 - înveliș interior, 7 - suportul tubului de descărcare, 8 - soclu.

Lămpile „MH" au eficacitatea luminoasă cuprinsă între 70 și 95 lm/W, aceasta depinzând de metalul folosit.

Lămpi cu descărcări în vapori de mercur la înaltă presiune cu balast încorporat (lampi cu lumină mixtă)

Acestea sunt similare lămpilor obișnuite cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune cu deosebirea că balastul (format dintr-un filament din W) este incorporat în lampă, fiind conectat în serie cu tubul de descărcare.

Lampa funcționează pe baza a două principii: descărcare în vapori de mercur de înaltă presiune și principiul filamentului incandescent.

Spectrul luminos al descărcării conține și radiații calde produse de filament.

Lampa are avantajul că poate fi folosită, prin conectare directă, în locul celei incandescente.

Ea se fabrică în gama de puteri de *100, 160, 250 și 500* W.

La lămpile cu lumină mixtă, eficacitatea variază între 11 și 26 lm/W.

Părțile componente ale lămpii cu balast incorporat sau cu lumină mixtă sunt prezentate în fig. I.4.19.

Caracteristicile lămpii cu vapori de mercur de înaltă presiune

Eficacitatea luminoasă

Eficacitatea este influențată de stratul fluorescent, acesta determinând transformarea unui procent mare de radiații UV în radiații vizibile. De aceea, eficacitatea pentru lampa cu strat fluorescent este mai mare decât la cea cu balon clar.

În general eficacitatea variază în jurul valorilor *35...60* lm/W.

Culoarea aparentă și redarea culorilor

Lămpile cu balon clar au spectrul emis în domeniile de nm: 404 - violet, 435,8 - albastru, 546,1 - verde și 579 - galben. Lampa are o culoare cu tentă albăstruie și este deficitară în radiații roșii. De aceea *Ra=15* (pentru T_c=6000 K).

Două variante îmbunătățite le reprezintă lampa cu adaos de ytrium și vanadium cu rol în modificare a temperaturii de culoare (T_c=3850 K și, respectiv, T_c=3300 K). În acest caz indicele de redare a culorilor este *Ra=45* și, respectiv, *Ra=53.*

La lămpile cu filamentul incandescent T_c=3600 K și *Ra=60.*

Poziția de funcționare este universală cu o excepție: la cea cu lumină mixtă se impune o înclinare cu 30° față de verticală pentru 100 și 160 W, și 45° pentru 250 și 500 W, iar pentru MH, cea indicată de fabricant.

Durata de funcționare a lămpii este de *12000...20000* h, dar depinde de ti-

pul lămpii. De exemplu, la cea cu lumină mixtă, este influențată de frecvența punerii/scoaterii în/din funcțiune a lămpii și, de asemenea, și de faptul că, la început, tensiunea aplicată filamentului este mult mai mare decât cea nominală (pentru lămpile incandescente aceste procese conduc la micșorarea duratei de funcționare a lămpii).

Influențe exterioare

Temperatura exterioară între -20 și +40 °C nu influențează, esențial, punerea în funcțiune a lămpii.

Lampa trebuie să se răcească pentru a putea fi repusă în funcțiune. La cea cu lumină mixtă, timpul de repunere în funcțiune este de 5...10 min, iar la MH, 20 min.

Pâlpâirea (flickerul)

Eliminarea fenomenului de pâlpâire este realizată, în mare parte, la cele cu strat fluorescent, prin legarea a două lămpi într-un circuit duo sau alimentarea pe faze diferite a aparatelor de iluminat alăturate (de regulă sunt utilizate circuitele trifazate).

Variația fluxului luminos

Cu un echipament adecvat se poate varia fluxul luminos al lămpii până la 50 % din valoarea sa nominală. Sub această valoare apar (în special la MH) diferențe de culoare, radiațiile devenind monocromatice.

4.5. Lămpi cu descărcări în vapori de sodiu la înaltă presiune

Lampa este diferită de cea la joasă presiune, datorită presiunii mult mai mari de vaporizare a sodiului, care produce scăderea fluxului luminos.

Părțile componente se pot observa în fig. I.4.20.

Comparativ cu lampa la joasă presiune, la care aproape toate radiațiile din domeniul vizibil sunt monocromatice, la aceasta, în funcție de presiunea din tubul de descărcare (de 10, 40 și 95 kPa), sunt emise radiații și pe alte lungimi de undă, ceea ce contribuie la creșterea capacității de redare a culorilor. În tubul de descărcare se introduc mercur și xenon pentru amorsare și echilibru termic care influențează pozitiv și compoziția spectrală (tab. I.4.1).

Caracteristicile lămpii cu vapori de sodiu la înaltă presiune

Culoarea aparentă și redarea culorilor

Culoarea aparentă este galbenă moderată (T_c=1950...2500 K), dar, față de cea de joasă presiune, la această lampă există radiații și în alte benzi, ceea ce face ca aceasta să aibă un indice de redare a culorilor ce variază în limite largi. De exemplu, lampa SON (PHILIPS) cu p=10 kPa are *Ra=23* și lampa SON White (PHILIPS) cu p=95 kPa are *Ra=80*.

Eficacitatea luminoasă e=66...138 lm/W, în funcție de gazul folosit pentru punerea în funcțiune a lămpii. La lampa SON White eficacitatea are cea mai mică valoare: *37...48* lm/W.

Durata de funcționare a lămpii este estimată a ajunge chiar până la 26000 h fiind influențată de: stabilitatea tensiunii, frecvența conectării la rețea, tipul de balast și igniter, temperatura tubului de descărcare.

Aprinderea se realizează cu ajutorul unui dispozitiv (igniter) ce produce șocuri de tensiune de *1-3* kV cu frecvența de 1 Hz.

Variantele constructive sunt în gama de puteri: *50, 70, 100, 150, 250, 400, 1000* W. SON White (SDW-T): *35, 50 și 100* W iar SON-H: *210 și 350* W.

Domeniile de utilizare: iluminat public, urban, decorativ, industrial și comercial. SON-H poate înlocui lampa cu mercur la înaltă presiune, conectarea la rețea făcându-se direct fără igniter.

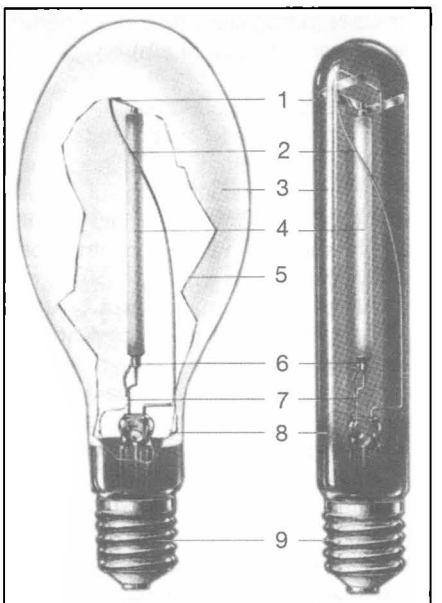


Fig. I.4.20. Lampa cu descărcări în vapori de sodiu la înaltă presiune: 1 - suport; 2 - intrare curent; 3 balon exterior ovoid sau tubular; 4 - tubul de descărcare; 5 - înveliș interior; 6 - dispozitiv de dilatare; 7 - intrare curent; 8 - dispozitiv pentru menținerea vidului; 9 - soclu.

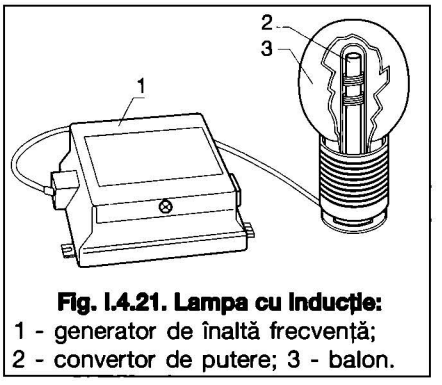


Fig. I.4.21. Lampa cu inducție: 1 - generator de înaltă frecvență; 2 - convertor de putere; 3 - balon.

4.6. Alte lămpi cu descărcări în gaze

4.6.1. Lămpile cu descărcări la joasă presiune în gaze sau amestecuri de gaze și vapori metalici cu coloana luminoasă pozitivă

Sunt utilizate pentru efecte decorative, reclame. Pentru gaze culorile sunt: roșu (neon), galben (heliu), albastru (argon). Alte culori se pot obține prin amestecul în proporții diferite sau prin amestecuri cu vapori metalici (mercur, sodiu sau alte combinații).

Lămpile au forme și lungimi diferite pentru a se realiza literele sau desenele impuse de reclamă. Acestea se conectează în serie. Tensiunea de alimentare se alege astfel încât să asigure căderile de tensiune liniare de-a lungul tuburilor înseriate și căderile de tensiune la electrozii aflați în serie. Căderile de tensiune depind de compoziția amestecului de gaze din tuburi, de diametrul tuburilor și de materialul din care se execută electrozii.

Se pot atinge astfel tensiuni de câțiva kV, ceea ce impune măsuri speciale de izolare a lămpilor și de protecție împotriva electrocutării.

De exemplu, pentru o lampă tubulară cu neon, tensiunea necesară, în curent alternativ, este cuprinsă între 500 și 5000 V, depinzând de lungimea firmei luminoase. Lungimea lămpii tubulare poate să ajungă la 14 m (argon/mercur), tubul având diametrul de 22 mm. Intensitatea este cuprinsă între 20 și 100 mA. Datorită tensiunii foarte mari aplicate la capetele lămpii, este necesară impunerea unor măsuri speciale în ceea ce privește interferența cu undele RTV.

Fluxul luminos este de 100...300 lm/m (tub clar fără luminofor) sau 160 lm/m (tub ce folosește un strat de luminofor cu fosfor de culoare verde). În general, fluxul luminos depinde de diametrul tubului, de intensitatea câmpului, de culoarea luminii și sistemului de producere a luminii (dacă are sau nu strat fluorescent).

Durata de viață este de 10000...20000 h.

4.6.2. Lămpile cu descărcări la joasă presiune în gazele menționate și lumina negativă

Sunt utilizate ca lămpi de semnalizare în tablourile de comandă pentru marcarea întreruptoarelor/comutatoarelor de perete, la iluminatul de veghe din spitale, dormitoare, aparate (șurubelniță pentru controlul tensiunii ș.a.).

Datorită faptului că electrozii pot lua

diferite forme, lămpile pot fi sub formă de litere sau pot fi folosite şi ca elemente decorative.

Puterea lămpilor are valori între 0,04 şi 0,05 W; intensitatea curentului este situată în intervalul 0,3...2,5 mA; tensiunea de amorsare este cuprinsă între 50 şi 100 V c.a., între 80 şi 160 V c.c.; eficacitatea luminoasă are valori de 0,3...1 lm/W; durata de funcţionare este de peste 10000 h.

4.7. Lămpi cu inducţie

În general, la o sursă de lumină părţile cele mai vulnerabile sunt electrozii. În timpul funcţionării, datorită reacţiilor chimice cu vaporii din tubul de descărcare, aceştia îşi diminuează funcţia. Lampa cu inducţie oferă unul din cele mai mari avantaje - lipsa electrozilor - fapt care conduce la o creştere considerabilă a duratei de funcţionare (pentru lampa PHILIPS QL este de 60.000 h). De aceea, acest tip de sursă este folosit acolo unde întreţinerea/înlocuirea ei este foarte dificil de făcut şi ar costa foarte mult.

Principiul lămpii cu inducţie are la bază realizarea agitaţiei moleculare printr-un câmp electromagnetic indus, produs de un generator de înaltă frecvenţă (fig. I.4.21).

Generatorul de înaltă frecvenţă (2,65 MHz) are rol de sursă de energie. Este format dintr-un circuit electronic care generează un semnal de înaltă frecvenţă la tensiunea corespunzătoare. El iniţiază şi menţine agitaţia moleculară. Generatorul poate fi înglobat în soclul lămpii sau poate fi furnizat separat, legătura dintre acesta şi lampă făcându-se printr-un cablu coaxial, în cel de-al doilea caz. De asemenea, generatorul este amplasat într-o cutie metalică cu rol de a disipa căldura emisă şi de a evita transmisia câmpurilor parazitare (pentru protecţie RTV).

Convertorul de putere este, o bobină (de regulă, un filament simplu, spiralat) care produce un câmp electromagnetic alternativ în balonul de sticlă, câmp ce va determina agitaţia moleculară în interiorul acestuia.

4.8 Diode electroluminescente (LED-uri)

Una din ultimile soluţii care va deschide noi dezvoltări în tehnica iluminatului electric este utilizarea diodelor electroluminescente - LED-uri de putere. Datorită eforturilor cercetătorilor de a descoperi surse de lumină mai economice, ţinând seama şi de dezvoltarea continuă a tehnologiilor de fabricaţie, diodele electroluminescente (LED-uri de putere) au devenit soluţii viabile pentru anumite sisteme de iluminat.

Pentru a putea fi utilizate în sisteme de iluminat, LED-urile trebuie să aibă caracteristici luminoase (flux luminos, intensitate luminoasă, eficacitate luminoasă) mult superioare LED-urilor indicatoare. Acest lucru se traduce în principal prin valori foarte mari ale curentului direct (I_F = *1000 ... 1500* mA, faţă de *20 ... 40* mA la LED-urile indicatoare). Aceasta implică luarea în considerare a degajărilor puternice de căldură în timpul funcţionării la concepţia sistemelor de iluminat pe bază de LED-uri de putere, adică urmărirea realizării unui ***management termic.***

Curentul direct I_F este curentul (majoritar) absorbit de LED la alimentarea în polarizare directă (borna pozitivă a sursei de alimentare este poziţionată la anodul LED-ului).

Materiale utilizate în fabricarea LED-urilor de putere sunt Al In Ga P (fosfo-galioindura de aluminiu - pentru culorile roşu, portocaliu şi chihlimbar) şi In Ga N (nitrogaliura de indiu - pentru culorile ver, albastru şi alb).

Caracteristicile LED-urilor

Una dintre cele mai importante caracteristici luminotehnice ale LED-urilor o reprezintă unghiul de vedere (notat ***2θ1/2***). El reprezintă unghiul plan al conului cu vârful în centrul optic al LED-ului şi care cuprinde 50 % din intensitatea maximă emisă. Acest unghi se mai poate defini ca fiind dublul unghiului dintre axa mecanică (acolo unde unghiul are valoarea 0°) şi generatoarea care delimitează zona de la care intensitatea luminoasă scade sub 50 %.

Pentru LED-urile de putere de ultimă generaţie, unghiul ***2θ1/2*** ajunge până la 149° şi chiar 160°, ceea ce înseamnă că ele pot fi observate uşor aproape din orice poziţie.

Pentru un LED de putere, cea mai importantă caracteristică este ***temperatura joncţiunii*** (T_j), care nu trebuie să depăşească o valoare maximă admisibilă pentru a nu permite distrugerea capsulei din material plastic.

Temperatura joncţiunii p-n influenţează valoarea intensităţii luminoase, culoarea emisă şi tensiunea directă (U_F). Astfel, odată cu creşterea temperaturii, intensitatea luminoasă scade, lungimea de undă dominantă (a radiaţiei monocromatice emise) se deplasează spre valori mai mari (capătul roşu al spectrului vizibil), iar tensiunea directă scade.

Lungimea de undă dominantă variază şi în valori mai mari (capătul roşu al spectrului vizibil), iar tensiunea directă scade.

Tensiunea directă U_F este tensiunea aplicată între bornele sursei de alimentare la polarizarea directă, caracteristică valorii curentului direct.

Lungimea de undă dominantă variază şi în funcţie de curentul direct. Astfel, dacă acesta creşte, lungimea de undă se va deplasa spre valori mai mici (capătul violet al spectrului vizibil).

Eficacitatea luminoasă a LED-ului de putere se defineşte, la fel ca în cazul oricărei surse de lumină, ca raportul dintre fluxul luminos emis Φ_{Led} (lm) şi puterea absorbită strict de către LED (W), fără a lua în considerare puterea absorbită de rezistenţa înseriată necesară pentru micşorarea tensiunii directe pe LED. Valorile eficacităţii luminoase nominale pentru LED-urile de putere existente la ora actuală variază de la 20 lm/W până la 95 lm/W, în funcţie de curentul direct I_F şi de tensiunea directă U_F, iar eficacitatea luminoasă globală, inclusiv rezistenţa, are valori reduse cu 20 ...30 %.

Durata de funcţionaare a LED-urilor de putere atinge valori de 100.000 de ore, în condiţiile unei exploatări corecte.

Pentru aplicaţiile legate de sisteme de iluminat interior, este importantă obţinerea luminii albe de culoare aparentă

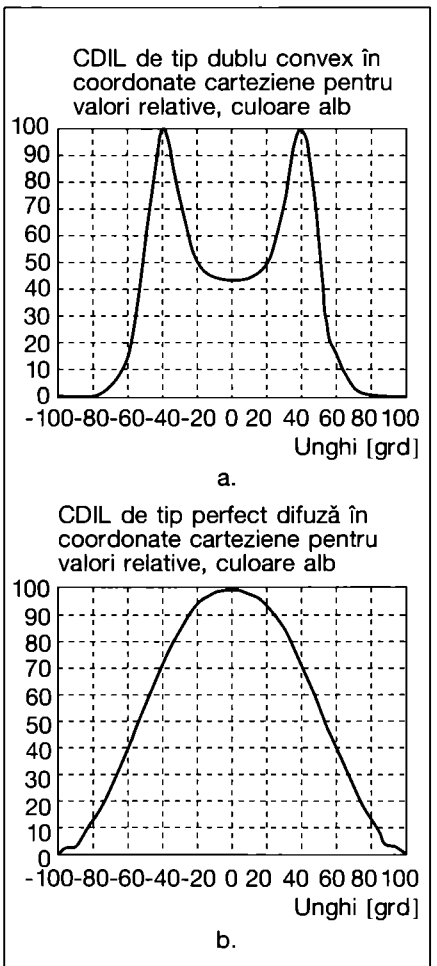


Fig. I.4.22. Distribuţia intensităţii luminoase de tip dublu convex (a), respectiv perfect difuz (b), în coordonate carteziene, pentru un LED de putere

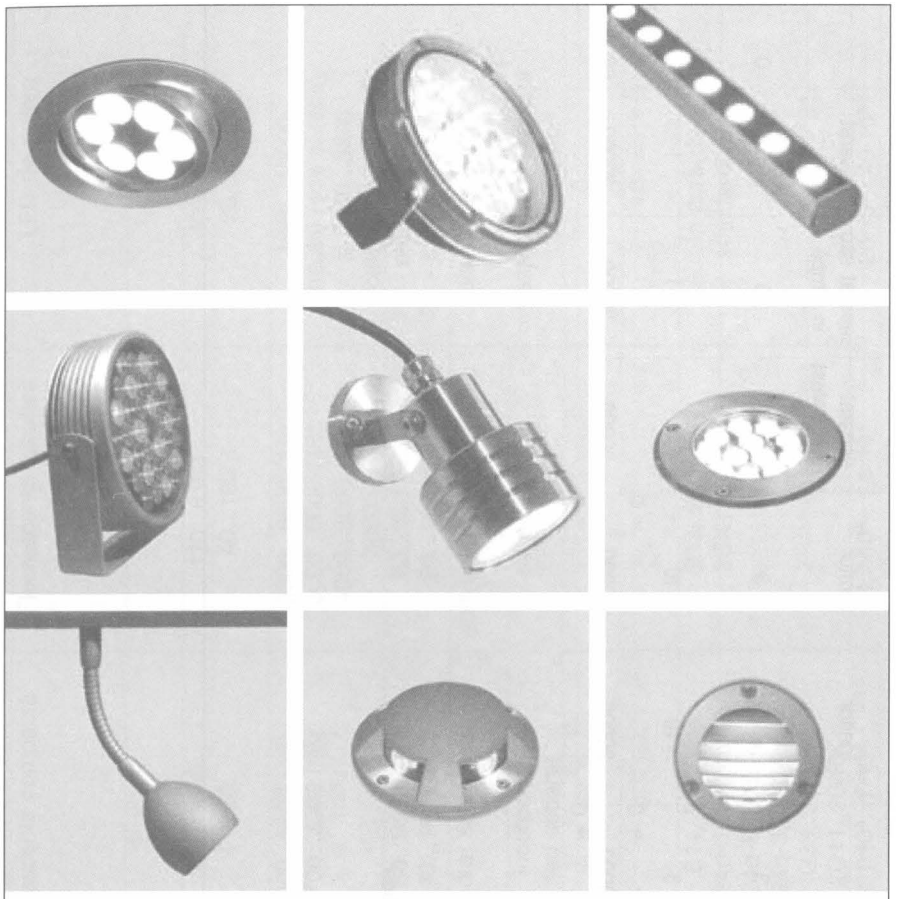


Fig. I.4.23. Tipuri de aparate de iluminat pentru interior şi exterior echipate cu LED-uri.

caldă, neutră sau rece. Există trei procedee de a realiza acest lucru:

a) combinarea, în cadrul aceluiaşi dispozitiv, a culorilor roşu, verde şi albastru, cu observaţia că persoanele cu deficienţe de percepţie a culorii pot să nu sesizeze corect culoarea albă astfel obţinută - cea mai eficientă metodă;

b) utilizarea unui strat de luminofor dispus pe interiorul capsulei din material plastic a LED-ului pe bază de InGaN, cu spectrul majoritar în domeniul vizibil albastru (cu luminofor pentru culoarea galben sau luminofor pentru culorile verde şi roşu) - metoda este simplă, fiabilă şi permite obţinerea unei lumini albe stabile şi de calitate;

c) un LED cu emisie în ultraviolet (UV), pe a cărui capsulă (la interior) se dispune un luminofor pentru lumină albă (denumit luminofor RGB) - în timp, se produce o degradare a suportului fizic al LED-ului, datorat interacţiunii dintre acesta şi radiaţia emisă în domeniul ultraviolet, dar lumina albă este de calitate.

Distribuţia intensităţii luminoase a LED-ului de putere este realizată implicit, prin optica inclusă în capsulă (lentilă). Pentru sistemele de iluminat interior, prezintă interes distribuţiile de tip dublu convex şi perfect difuz (exemplificate în fig. I.4.22).

Trebuie menţionat că alegerea corectă a culorii aparente a LED-urilor este esenţială atât în iluminatul interior cât şi în cel exterior, având în vedere aspectele ce ţin de destinaţie şi de celelalte tipuri de surse.

Avantajele utilizării LED-urilor:

- durata de funcţionare foarte mare, în raport cu toate celelalte surse luminoase;
- consum redus de energie electrică, datorită eficacităţii luminoase ridicate;
- sistem simplu şi eficient de control;
- tensiune redusă de alimentare;
- formă compactă şi dimensiuni mici;
- influenţa redusă la vibraţii şi şocuri mecanice;
- pot fi utilizate în medii umede şi reci (chiar până la -40°C;
- varietate foarte mare de culori ale luminii emise;
- absenţa radiaţiilor IR şi UV din fluxul emis.

Domenii de utilizare a LED-urilor în iluminatul interior şi exterior:

- iluminatul de accent - LED-urile prezintă cea mai redusă emisie de raze IR şi UV comparativ cu alte surse de lumină (cu excepţia fibrelor optice), protejându-se astfel obiectele sensibile la aceste tipuri de radiaţii; dimensiunile mici şi aspectul discret le recomandă pentru iluminat de accent fără a evidenţia sursa de lumină;
- iluminatul decorativ-arhitectural şi de efect - iluminatul suprafeţelor, iluminatul de contur, efectul de „spălare" cu lumină a suprafeţelor şi elementelor arhitecturale;
- iluminatul ambiental - posibilităţi multiple de variaţie a fluxului luminos emis şi/sau de realizare de efecte de schimbare dinamică a culorilor în funcţie de starea de spirit a utilizatorilor şi de tipul aplicaţiei;
- realizarea ghidajului vizual.
- iluminatul exterior - unde sursa de alimentare poate fi şi un panou fotoelectric.

Tabelul I.4.1 Caracteristicile surselor de lumină produse de PHILIPS

Tipuri / Caracteristici	GLS	LIH	SL	PL	TL	ML	HP(L)	HPI	MHN/MHD	SOX(E)	SON	SDW-T	QL
Putere [W]	15...500	75...2000	9...25	5...40	15...140	100...500	50...1000	70...2000	70...1800	18...180	50 ...1000	35...100	85
Flux luminos [lm]	120...8400	975...50000	45...1200	250...500	750...7300	1100...13000	1800...58000	5500...189000	5100...150000	180...33000	3300...130000	1300...4800	6000
Eficacitate [lm/W]	8...17	13...25	41...50[1)]	50...88	50...104[2)]	11...26[1)]	36...58	79... 95	73....83	100...200	66...138	37...48	70
Culoare aparentă	alb cald	alb cald	alb cald	alb cald	alb cald la alb lumina zilei	intermediar	intermediar	rece	alb rece	galben	alb auriu	alb cald	alb cald
Redarea culorilor Ra	excelentă 100	excelentă 100	bună 70...85	bună 70...85	moderată la excelent 51...98	moderată 50...55	slabă la moderată 15...52	moderată 65...68	bună la excelentă 75...92	foarte slabă	slabă la moderată 23...60	bună 85	bună 80...85
Balast/ignitor	- -	-	încorporat	bobină reactantă, electronic	bobină reactantă, electronic	încorporat -	bobină reactantă	bobină reactantă	bobină reactantă	bobină reactantă -	bobină reactantă	bobină reactantă	electronic
Starter	-	-	încorporat	încorporat sau separat	cu sau fără	-	-	ignitor	ignitor	separat sau în balast	separat sau în lampă	separat	
Timp de punere în funcțiune [min]	0	0	<1	0	0	0-2	3	3	3	10	5	5	0
Timp de repunere în funcțiune [min]	0	0	0	0	0	5	5	10	10	2	<1	1	0
Durată de funcționare [h]	1000	2000...3000	8000	8000	600...10000	-	20000	20000	20000	20000	20000	20000	60000

GLS - cu incandescență clasică;
LIH - cu incandescență cu ciclu regenerativ cu halogen;
SL, PL - fluorescentă compactă;
TL - fluorescentă tubulară;
ML - cu lumină mixtă;
HP(L) - cu descărcări în vapori de mercur la înaltă presiune;
HPI, MHN, MHD - cu descărcări în vapori de mercur la înaltă presiune cu adaosuri de halogenuri metalice;
SOX (E) - cu descărcări în vapori de sodiu de joasă presiune.
SON, SDW - cu descărcări în vapori de sodiu la înaltă presiune;
QL - cu inducție;
1 - inclusiv pierderile balastului;
2 - culorile - 83, 84 [50 W] cu balast de înaltă frecvență;

Tabelul I.4.2 Analiză comparativă între sursele electrice de lumină utilizate în iluminatul interior şi LED-urile de putere

Tip sursă / Mărime caracteristică	Incandescentă clasică	Incandescentă cu halogen	Fluorescentă compactă	Fluorescentă tubulară	LED de putere
Putere electrică absorbită P[W]	15...500	75...2000	3...80	4...80	1,1...5,7
Flux luminos Φ[lm]	120...8400	975... 50000	250...3500	120...6150	100...240
Eficacitate luminoasă e [lm/W]	8...17	13...25	41...88	40...105	20...95
Temperatura de culoare (corelată) T_c [K]	≈ 3000	≈ 3000	3000...5400 (1A), 2700...6000 (1B)	3300...6500 (1A), 3000...6000 (1B), 4000...6000 (2A), 3000 (3)	4500...10000 (neutru rece şi rece) şi 2850...3800 (cald şi neutru cald)
Indice de redare a culorilor *Ra*	100	100	80...90 (1B), 90...100 (1A)	80...90 (1B), 90...100 (1A)	70 - neutru rece şi rece, 90 - cald şi neutru cald
Balast/ignitor	-	-	încorporat sau electronic	convenţional/electronic	dispozitiv electronic redresor cu transformator, rezistor, condensator
Starter	-	-	încorporat sau separat	cu sau fără	
Timp de punere în funcţiune [min]	0	0	≈ 0	≈ 0	0
Timp de repunere în funcţiune [min]	0	0	≈ 0	≈ 0	0
Tip soclu	E14, E27, E40, S14s, S14d	G9, GU10, GZ10, E14, E27, B15d, R7s, GY6,35, G4, G53, BA15d, GY4, GU5, 3, GU4	E14, E27, GX24d-1, GX24d-2, GX24d-3, GX24q-1, GX24q-3, GX24q-4, G23, 2G7, 2G11, 2G10	G13, 2G13, 2GX13, G5	În curs de standardizare
Luminanţă [cd/m²][3]	$40 \cdot 10^4 ... 700 \cdot 10^4$	$160 \cdot 10^4 ... 2800 \cdot 10^4$	$2{,}1 \cdot 10^4 ... 7 \cdot 10^4$	$0{,}7 \cdot 10^4 ... 1{,}5 \cdot 10^4$	$20 \cdot 10^4 ... 40 \cdot 10^4$
Durată de funcţionare [ore]	800...1000	1000...4000	≈ 8000	6000...10000	100000
Tensiuni uzuale de alimentare [V]	12, 24, 230 AC, DC	12, 230, AC, DC	230 AC	230 AC	6 DC, 12 DC, 110 DC, 220 DC
Variaţia fluxului luminos	0...100 %	0...100 %	10 %...100 % cu balast electronic	10 %...100 % cu balast electronic	0,05 % - 100 % sistem PWM

[3]Ochiul uman percepe fără pericol de orbire maximum 30000 cd/m². După această valoare senzaţia produsă este de durere.
O valoare de 60000 cd/m² este limita pragului de la care orbirea produce efecte ireversibile.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 5
Aparate de iluminat

5.1. Caracteristicile aparatelor de iluminat (AIL)

Prin *aparat de iluminat* se defineşte un aparat electric care:
- susţine mecanic lampa (lămpile),
- asigură alimentarea cu energie electrică a lămpii (lămpilor) şi
- distribuie fluxul luminos în mod convenabil.

AIL are 2 componente principale:
- armătura ce cuprinde dispozitivul de fixare a sursei sau surselor, aparatura necesară aprinderii şi funcţionării lămpilor cu descărcări (balasturi, startere, ignitere, condensatoare), elementele de conexiune electrice (socluri, cleme) şi conductele electrice;
- dispozitivul optic ce are rolul de a distribui, reflecta şi/sau transmite fluxul luminos asigurând, de asemenea, protecţia vizuală a sursei. Uneori dispozitivul optic asigură şi protecţia faţă de mediu: la lovire, la degajări de praf sau umiditate etc.

Aparatul de iluminat trebuie să:
- aibă o formă plăcută, estetică;
- fie uşor de instalat;
- menţină o temperatură de funcţionare constantă în limitele admise;
- permită o întreţinere uşoară oferind un acces rapid la părţile componente pentru curăţire, schimbarea surselor sau reparaţii.

Din punct de vedere funcţional, aparatele de iluminat prezintă o serie de caracteristici luminotehnice specifice (fig. I 5.1.).

Randamentul η_A al aparatului de iluminat este dat de relaţia:

$$\eta_A = \Phi_A/\Phi_e \qquad (5.1.1)$$

în care:

$$\Phi_e = n\cdot\Phi_l \qquad (5.1.2)$$

Φ_e - este fluxul emis de lămpi;
n - numărul de lămpi;
Φ_l - fluxul unei lămpi;
Φ_A - fluxul luminos emis de AIL.

Sistemele optice ale AIL, nefiind perfect reflectante sau transmiţătoare, fac ca fluxul emis de aparat să fie mai mic decât cel emis de surse.

Curba de distribuţie a intensităţii luminoase (CDIL) reprezintă repartiţia intensităţilor luminoase într-un plan care trece prin axa AIL.

Amplasând intensităţile luminoase $(I_{\gamma,c})$ în centrul de simetrie al aparatului de iluminat, vârfurile acestora se vor găsi pe o suprafaţă numită „suprafaţă de distribuţie a intensităţii luminoase". Aceasta este redată prin una sau mai multe *curbe de distribuţie a intensităţii luminoase* (CDIL) - cap. I - în funcţie de felul suprafeţei:
- dacă suprafaţa este de revoluţie este suficientă o singură CDIL
$I_\gamma = f(\gamma)$;
- dacă suprafaţa este oarecare sunt necesare mai multe CDIL
$I_\gamma = f(\gamma)$ pentru unghiuri c constante.

De regulă, sunt utilizate 2 sau 4 asemenea curbe, din planurile c=0...180°; 90...275° sau c=0...180°; 45...225°; 90...270°; 135...315°.

Dacă AIL este nesimetric sunt necesare mai multe curbe de distribuţie a intensităţilor luminoase, numărul lor fiind ales în funcţie de gradul de nesimetrie. În acest caz intensitatea luminoasă este în funcţie de γ şi c, γ fiind unghiul de înălţime, iar c fiind unghiul de azimut.

De exemplu, pentru AIL fluorescente liniare sunt suficiente 2 curbe (una transversală c = 0-180° şi una longitudinală c = 90...270°).

Curbele de distribuţie pentru aparatele de iluminat interior şi exterior sunt date de producători.

Aceste curbe, în majoritatea cazurilor, sunt ridicate pentru cazul în care în aparatul de iluminat se montează o lampă convenţională cu fluxul de 1000 lm. Ele sunt date, de regulă, în coordonate polare, pentru AIL obişnuite, şi coordonate rectangulare, pentru proiectoare.

Coeficientul de amplificare C_a este o caracteristică mai puţin utilizată, definit cu relaţia:

$$C_a = I_{mx}/I_{ms}, \qquad (5.1.3)$$

în care:
I_{mx} - este intensitatea maximă emisă de AIL, iar
I_{ms} - este intensitatea medie sferică,

$$I_{ms} = (1/4\pi)\cdot\Phi_A \qquad (5.1.4)$$

Acest parametru dă o informaţie a-

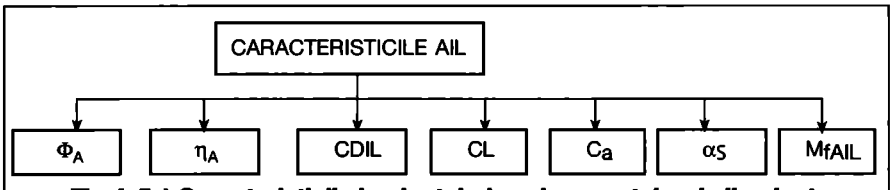


Fig. I. 5.1 Caracteristicile luminotehnice ale aparatelor de iluminat.

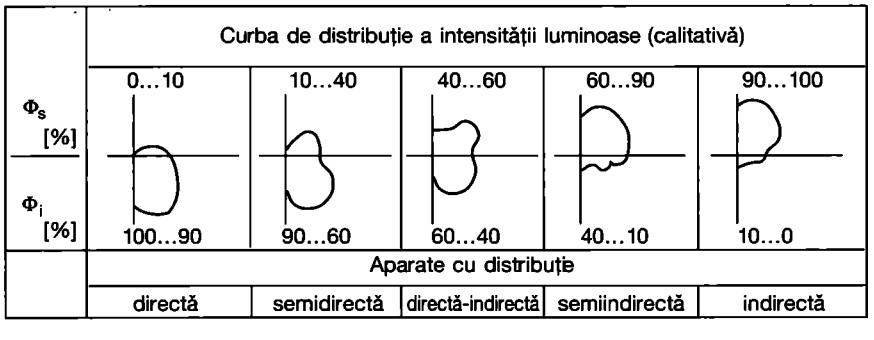


Fig. I.5.3. Clasificarea aparatelor de iluminat din punctul de vedere al distribuţiei spaţiale a fluxului luminos.

Tabelul I.5.1. Unghiurile de protecţie minime recomandate

Domeniul luminanţei medii L_m a lămpilor [cd/m²]	Clasa de calitate privind limitarea orbirii		Tipul lămpii
	A, B, C	D, E	
$L_m \le 20\cdot10^3$	20°	10°*	Fluorescente tubulare
$20\cdot10^3 < L_m \le 500\cdot10^3$	30°	20°	Cu descărcări la înaltă presiune şi balon fluorescent sau opal
$L_m > 500\cdot10^3$	30°	30°	Cu balon clar şi lămpi incandescente

*Pentru unghiul de protecţie longitudinal 0°

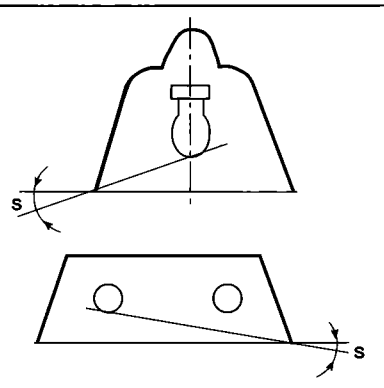


Fig. I.5.2. Modalităţi de stabilire a unghiului de protecţie.

supra modului de amplificare a intesității luminoase.

Unghiul de protecție al AIL este unghiul în care ochiul nu privește sursa de lumină, așa cum se arată în fig. I.5.2.

În tabelul I.5.1. sunt indicate unghiurile de protecție minime, recomandate, în funcție de luminanța lămpilor și clasa de calitate privind limitarea orbirii.

Clasele de calitate A, B, C, D și E corespund claselor de calitate din metoda curbelor de luminanță limită (cap. 8).

Pentru alte tipuri de AIL, de exemplu, cele cu ecrane opale, protecția vizuală este totală. Aceasta se realizează prin difuzia luminii, obținându-se o diminuare substanțială a luminanței sursei.

Curbele de luminanță (CL) sunt, de asemenea, o caracteristică importantă a aparatelor de iluminat, ele servind la aprecierea calității iluminatului din punctul de vedere al orbirii directe ce poate fi produsă de sursă (cap. 8).

Coeficientul de menținere (M_f), exprimă faptul că fluxul luminos al aparatelor de iluminat scade în timp. Scăderea se datorează:

- îmbătrânirii lămpii, fenomen ce se manifestă prin evaporarea filamentului și depunerea acestuia pe globul sau tubul de sticlă, mărind coeficientul de absorbție al acestuia;
- îmbătrânirii dispozitivului optic, ce duce la micșorarea coeficienților de reflexie sau transmisie;
- depunerii de praf între 2 curățiri consecutive.

Acest coeficient este introdus în calculele de proiectare astfel ca la expirarea duratei de funcționare a lămpilor sistemul de iluminat să ofere condiții optime pentru activitatea din încăpere. Rezultă că la instalarea sistemelor de iluminat acestea trebuie să asigure condiții superioare celor prevăzute în norme.

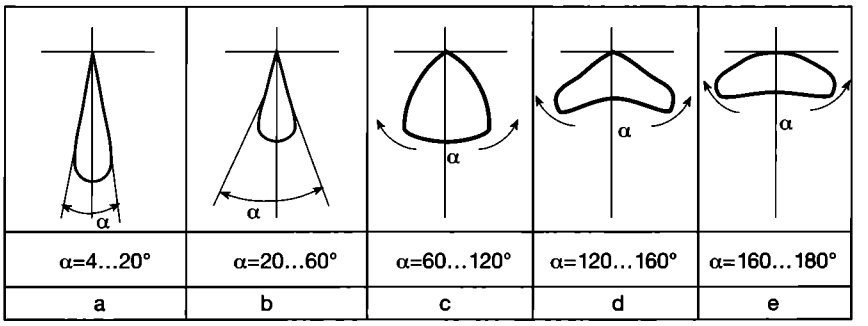
Clasificarea aparatelor de iluminat

Din punct de vedere funcțional (sau al destinației) se disting 4 clase de aparate de iluminat pentru iluminatul:

A - interior;
B - exterior;
C - mijloacelor de transport (auto, aero, navale etc.)
D - iluminat special (din domeniul medical etc).

Clasele A și B formează grupa aparatelor de iluminat obișnuite (cu o utilizare generală), iar clasele C și D grupa aparatelor de iluminat speciale (cu o utilizare restrânsă și specializată).

Din punctul de vedere al distribuției fluxului luminos, aparatele de iluminat



α=4...20°	α=20...60°	α=60...120°	α=120...160°	α=160...180°
a	b	c	d	e

Fig. I.5.4. Clasificarea aparatelor de iluminat din punctul de vedere al distribuției fluxului inferior.

Tabelul I.5.2. Clasificarea AIL din punctul de vedere al protecției electrice împotriva electrocutării (după CEE - Comisia internațională pentru echipamente electrice)

Clasa	Protecția electrică
0	AIL cu izolație funcțională obișnuită și fără bornă de legare la conductorul de protecție AIL cu izolație funcțională și cu bornă de legare la conductorul de protecție
I	AIL mobile conectate prin cablu flexibil sunt echipate cu fișă cu contact de protecție sau soclu cu conector pentru conductorul de protecție
II	AIL cu izolație dublă sau întărită fără bornă de legare la conductorul de protecție
III	AIL realizat pentru conexiuni la circuite de distribuție de tensiune foarte joasă și neavând la interior sau exterior cale de curent la altă tensiune

Tabelul I 5.3. Clasificarea aparatelor de iluminat (după IEC*) din punctul de vedere al protecției la corpuri solide și apă

Tipul de protecție (IP)	
Prima cifră caracteristică Protecția persoanelor împotriva atingerii sau apropierii de părțile active și împotriva contactului cu părțile mobile din interior; protecția echipamentului împotriva pătrunderii de corpuri străine	A doua cifră caracteristică Protecția echipamentului din interior împotriva pătrunderii periculoase a apei
0 Neprotejat	0 Neprotejat
1 Protejat împotriva obiectelor solide mai mici de 50 mm, de ex.: mâna (dar nu împotriva accesului intenționat)	1 Protejat împotriva picăturilor de apă pe verticală
2 Protejat împotriva obiectelor solide mai mici de 12 mm, de ex.: degetele	2 Protejat împotriva picăturilor de apă la un unghi mai mic de 15°
3 Protejat împotriva obiectelor solide mai mici de 2,5 mm, de exemplu, sculele, conductele ș.a. (cu diametrul sau grosime mai mică de 2,5 mm)	3 Protejat împotriva apei pulverizate
4 Protejat împotriva obiectelor mai mici de 1 mm, de ex.: conductele cu diametrul sub 1 mm	4 Protejat împotriva stropirii cu apă
5 Protejat împotriva prafului	5 Protejat împotriva jetului de apă
6 Etanș la praf	6 Protecția împotriva valurilor puternice
7 -	7 Protejat împotriva imersiunii **
8 -	8 Protejat împotriva scufundării

* IEC - Comisia electrotehnică internațională
** introducere temporară în apă

se clasifică astfel:

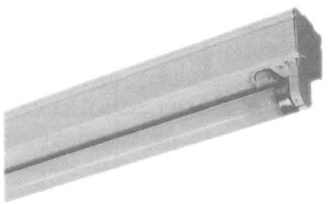
- după distribuția spațială a fluxului (Φ_A) în cele două semisfere, inferioară (Φ_i) și superioară (Φ_s) (fig. I.5.3).
- după distribuția fluxului inferior Φ_i, aparatele de iluminat pot fi cu distribuții de la foarte intensiv (cu flux concentrat) la foarte extensiv (cu o distribuție evazată) (fig. I.5.4); de regulă, distribuția foarte intensivă este proprie proiectoarelor, iar cea foarte extensivă, aparatelor folosite pentru iluminatul rutier. Celelalte distribuții sunt proprii aparatelor de iluminat obișnuite.
- după distribuția intensității luminoase, mult utilizată de normele britanice și de metoda CIE; se mai numește și clasificarea BZ (British Zonal). Din acest punct de vedere aparatele de iluminat se împart în 10 clase, după modul de variație al funcției $I_\gamma = f(\gamma)$, astfel:

BZ1: $I_\gamma = I_{max} \cos^4 \gamma$
BZ2: $I_\gamma = I_{max} \cos^3 \gamma$
BZ3: $I_\gamma = I_{max} \cos^2 \gamma$
BZ4: $I_\gamma = I_{max} \cos^{3/2} \gamma$
BZ5: $I_\gamma = I_{max} \cos \gamma$
BZ6: $I_\gamma = I_{max} (1+2 \cos\gamma)$
BZ7: $I_\gamma = I_{max} (2+\cos\gamma)$
BZ8: $I_\gamma = I_{max}$
BZ9: $I_\gamma = I_{max} (1+\sin\gamma)$
BZ10: $I_\gamma = I_{max} \sin\gamma$

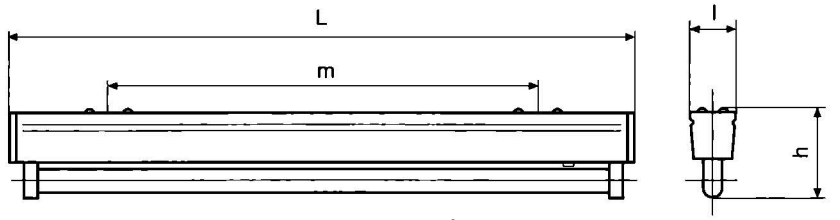
De regulă, forma analitică $I_\gamma = f(\gamma)$ a CDIL nu se cunoaște. De aceea încadrarea în clasa BZ se mai face în funcție de rapoartele de fluxuri N1, N2, N3 și N4 definite de:

$$N1 = \frac{FC1}{FC4}; \quad N2 = \frac{FC2}{FC4};$$

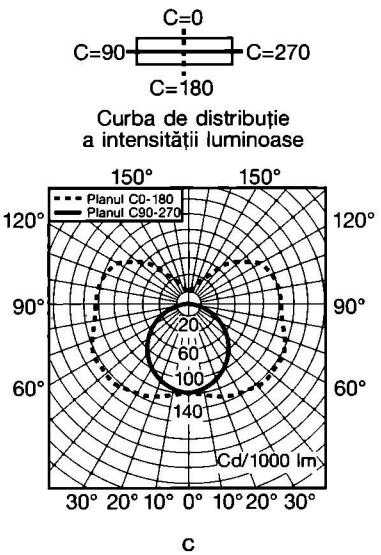
$$N3 = \frac{FC3}{FC4}; \quad N4 = \frac{FC4}{F}.$$



a



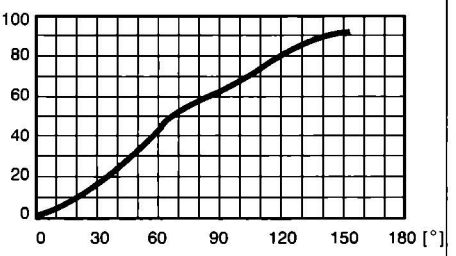
b

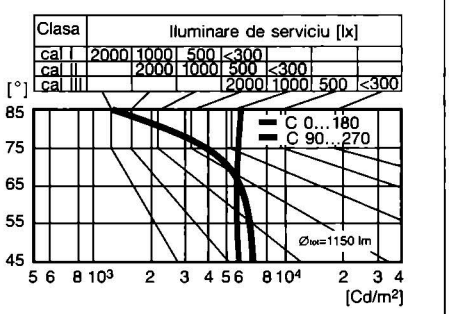


c

γ [°]	Pentru 1000 lm		
	Intensitate [Cd]		Flux zonal
	0...180°	90...270°	[lm]
0	121	121	0,00
5	123	120	11,60
15	130	115	46,32
25	137	109	103,25
35	144	100	179,90
45	148	85	270,12
55	148	68	367,01
65	145	50	463,79
75	137	27	550,54
85	128	3	622,01
95	124	0,00	689,65
105	124	0,00	755,24
115	118	0,00	813,81
125	100	0,00	858,66
135	78	0,00	888,87
145	56	0,00	906,46
155	35	0,00	914,56
165	16	0,00	916,82
175	4	0,00	917,02

d





f

Reflectanță									
Tavan		0,70			0,50			0,30	0,00
Pereți	0,50	0,30	0,10	0,50	0,30	0,10	0,30	0,10	0,00
Podea	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,10	0,10	0,00
Indice	Factori de utilizare								
0,60	0,33	0,25	0,20	0,29	0,23	0,18	0,20	0,17	0,13
0,80	0,41	0,33	0,27	0,36	0,29	0,24	0,25	0,22	0,17
1,00	0,48	0,39	0,33	0,42	0,35	0,30	0,30	0,26	0,21
1,25	0,54	0,46	0,39	0,47	0,41	0,35	0,35	0,31	0,25
1,50	0,59	0,51	0,45	0,52	0,45	0,40	0,39	0,35	0,28
2,00	0,67	0,59	0,53	0,59	0,52	0,47	0,44	0,41	0,33
2,50	0,73	0,65	0,59	0,63	0,57	0,53	0,48	0,45	0,37
3,00	0,76	0,70	0,64	0,66	0,61	0,57	0,51	0,48	0,39
4,00	0,81	0,75	0,70	0,70	0,66	0,62	0,54	0,52	0,42
5,00	0,84	0,79	0,74	00,72	0,68	0,65	0,56	0,54	0,44

e

Indicatorii de distribuție ai fluxului [%]	N1	N2	N3	N4	N5
	31	59	83	68	92

Fig. I.5.5. Datele de proiectare pentru un AIL:
a - vedere spațială; b - secțiune; c - CDIL pentru Φ_e =1000 lm; d - tabel cu variația intensităților și luminanțelor; e - factorii de utilizare și indicatorii de distribuție zonală a fluxului; f - graficul de variație a fluxului luminos în spațiu, și curbele de luminanță suprapuse pe graficul curbelor limită de luminanță.

unde:

FC1...FC4 - sunt fluxurile cumulate caracteristice ale aparatelor de iluminat cuprinse în unghiurile solide $\pi/2$; π; $3\pi/2$; 2π și, respectiv, 4π, iar *N1...N4* reprezintă numere întregi formate din primele două zecimale ale rapoartelor.

- după gradul de protecție față de mediu, care poate fi:
  - *electrică* sau împotriva electrocutării (tab. I.5.2.); protecția omului la atingerea și manevrarea aparatului de iluminat crește de la clasa 0 la III;
  - *față de pătrunderea corpurilor solide și a apei* - ce se exprimă prin gradul de protecție IPXX, unde prima cifră (de la 0 la 6) indică protecția pe care o asigură echipamentul aparatului de iluminat împotriva corpurilor străine, iar a doua cifră (de la 0 la 8) indică protecția împotriva pătrunderii apei (tab. I.5.3.).

Cu cât prima cifră este mai mare cu atât omul este mai bine protejat la atingerea și manevrarea aparatului de iluminat. Cu cât a doua cifră este mai mare cu atât apa (sub diferite forme) poate pătrunde mai greu la echipamentul electric al aparatului. Pătrunderea apei la echipamentul electric ar duce la scurtcircuit, la deconectarea aparatului de iluminat.

Mulți fabricanți de aparate de iluminat dau gradul de protecție IP prin 3 cifre, cea de a treia indicând rezistența aparatelor la șocuri mecanice.

- *față de pătrunderea mediilor gazoase cu pericol de explozie;* din acest punct de vedere aparatele de iluminat se execută în două variante constructive:

* E_{xd} (antiexploziv), capabil să reziste la presiuni determinate de explozii interne, pentru a evita transmiterea acestora în mediul înconjurător. Acest tip va avea armătura din oțel și dispozitivul optic din sticlă dură rezistentă la presiuni ridicate.

* E_{xe} (cu siguranță mărită), capabil să evite pătrunderea gazelor sau amestecurilor gazoase explozibile în interior printr-o construcție specială (eventual cu suprapresiune) dublată de un sistem de siguranță electrică pentru deconectare în cazul depresurizării sale.

- după modul de montare, aparatele de iluminat pot fi montate:
  - aparent pe elementele de construcții:
  * direct pe plafon: plafonieră;
  * suspendat de plafon: lustră, candelabru;
  * pe perete: aplică (dreaptă sau oblică)
  - îngropat în elementele de construcție:
  * în plafon, de regulă în plafon fals;
  * în scafe: pe perete, pe stâlpi.
  - pe stâlpi etc.

5.2. Aparate pentru iluminatul interior

- Aparate de iluminat pentru lămpile cu incandescență (normale și cu halogen) și fluorescente compacte pot fi clasificate în următoarele categorii principale, în funcție de folosință:
  - locuințe;
  - unele săli de spectacole;
  - iluminatul decorativ interior sau de accent;
  - medii cu degajări de praf, umiditate sau cu pericol de explozie.

În fig. I.5.5 este indicată o fișă tehnică de date pentru un aparat de iluminat interior (ELBA -FIA-09-118) echipat cu lampă fluorescentă de 18 W.

Pentru încăperile moderne destinate birourilor cu calculatoare se recomandă AIL sub formă de aplice (iluminat indirect) echipate cu lămpi MH (în poziții fixe, fig.

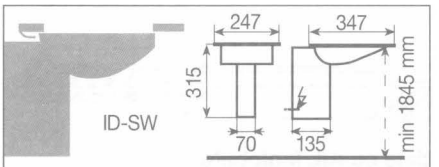


Fig. I.5.6. Aplică pentru birouri mici cu calculatoare.

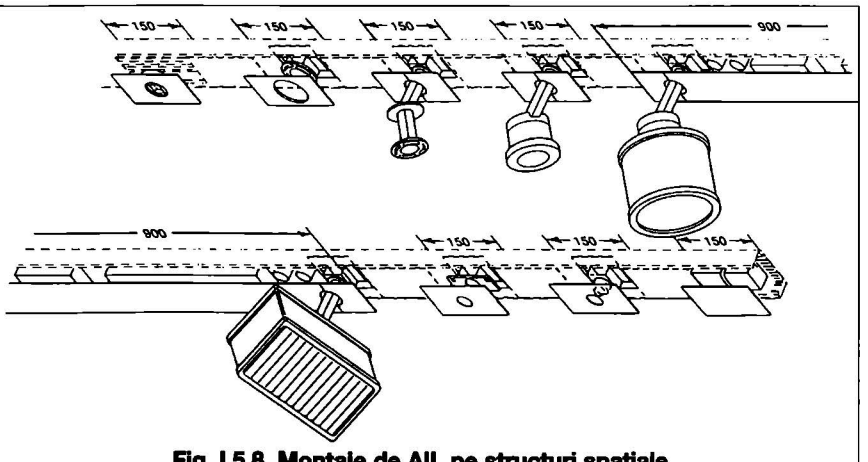


Fig. I.5.8. Montaje de AIL pe structuri spațiale.

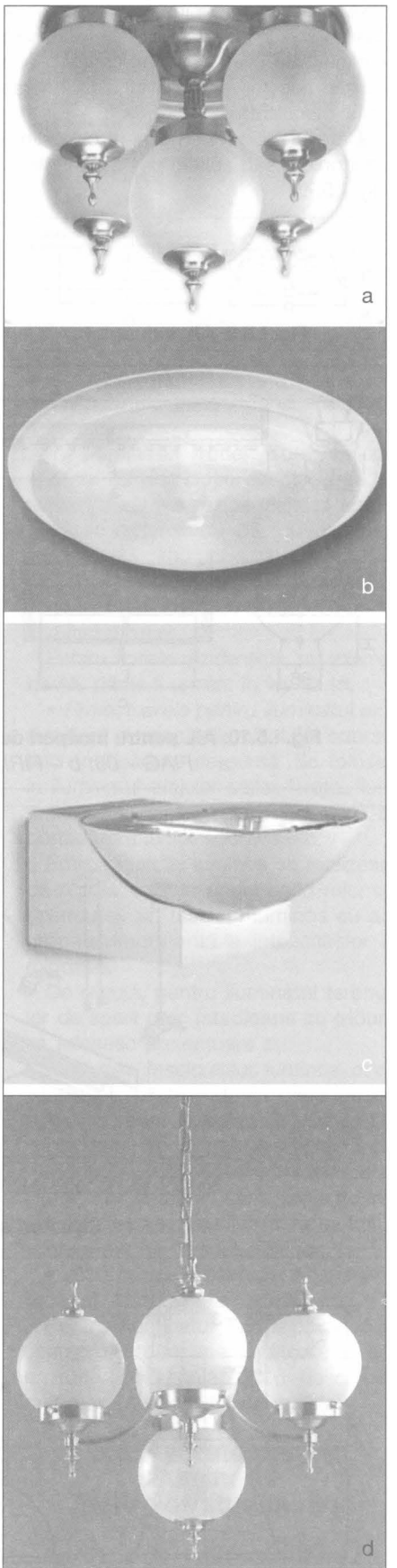


Fig. I.5.7. AIL pentru locuințe:
a - plafonieră pentru camere obișnuite; b - plafoniere pentru încăperi de trecere; c - aplice indirecte; d - AIL cu elemente decorative suspendate.

I.5.6) sau lampadare identice ca structură luminotehnică cu aplica din aceeași figură (soluție flexibilă). Evident, pentru alte utilizări decorative se pot utiliza ca surse și LIH tubulare.

Câteva AIL moderne pentru locuințe (plafoniere sau aplice) pot fi urmărite în fig. I.5.7.

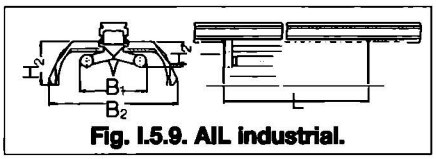


Fig. I.5.9. AIL industrial.

Pentru sistemele de iluminat flexibile-/adaptabile, AIL se montează pe șină sau pe structuri spațiale utilizate atât pentru fixare cât și pentru alimentare electrică (fig. I.5.8).

• Aparatele de iluminat pentru lămpi fluorescente de joasă presiune (liniare) se pot utiliza în:

- spații industriale obișnuite și similare;
- spații din clădirile administrative, cu birouri, săli de proiectare, învățământ, cercetare, social - culturale, magazine;
- spații de circulație și similare;
- medii cu degajări de praf, umiditate sau cu pericol de explozie.
- Pentru *spațiile industriale obișnuite* (fără degajări de praf, umiditate, gaze explozive) cu o înălțime sub 4-5 m, se utilizează iluminatul fluorescent și AIL cu distribuție directă a fluxului.

Un AIL tipic este prezentat în fig. I.5.9 (gen. FIRA).

- Pentru *spațiile de muncă intelectuală,* învățământ, unele magazine ș.a., AIL cu distribuție semidirectă până la indirectă și, mai rar, directă (cu grătare oglindate și unghi de emisie mare) sunt cele adecvate (fig. I.5.10).

Sistemele de iluminat flexibile/adaptabile utilizează, de asemenea, structuri spațiale suspendate care înglobează AIL fluorescente liniare (fig. I.5.11).

- *Spațiile cu degajări de praf și umiditate,* AIL trebuie protejate și etanșate corespunzător (fig. I.5.12).

• Aparatele de iluminat pentru lămpi cu descărcări în vapori metalici (de mercur sau sodiu) sunt destinate halelor industriale înalte (peste 6 m). AIL au o distribuție directă și pot fi deschise sau protejate în funcție de mediu (cu sau fără degajări). În fig. I.5.13 se pot urmări 3 tipuri de aparate în construcție deschisă.

Pentru medii cu degajări, AIL se construiesc de tip etanș, reflectorul fiind protejat la partea inferioară cu apărătoare din sticlă sau material plastic transparent.

• Aparatele pentru iluminatul de siguranță. În sistemele de iluminat de siguranță, în general, se pot utiliza aceleași aparate ca și pentru iluminatul normal, ținând seama de indicațiile specificate de norme.

Pentru iluminatul de siguranță specializat se utilizează AIL speciale echipate cu surse corespunzătoare, cu elemente colorate adecvate și, eventual, cu un sistem de comutare automată la căderea iluminatului normal.

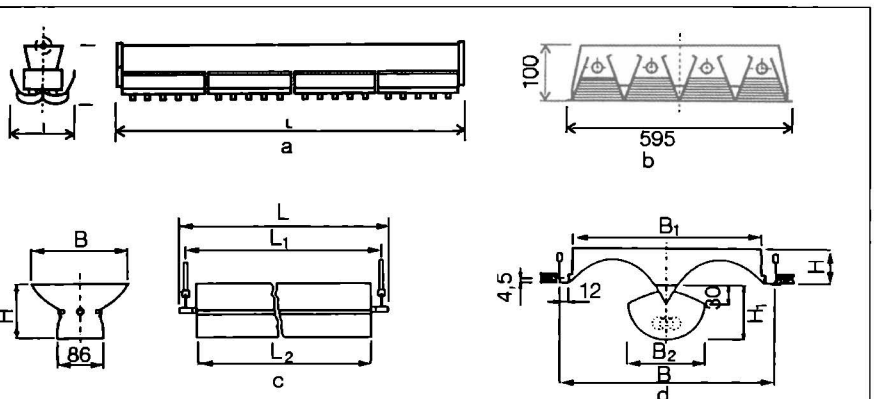


Fig. I.5.10. AIL pentru încăperi de muncă intelectuală, învățământ ș.a.
a - FIAG - 03; b - FIRI; c și d - AIL D-ID Zumtobel.

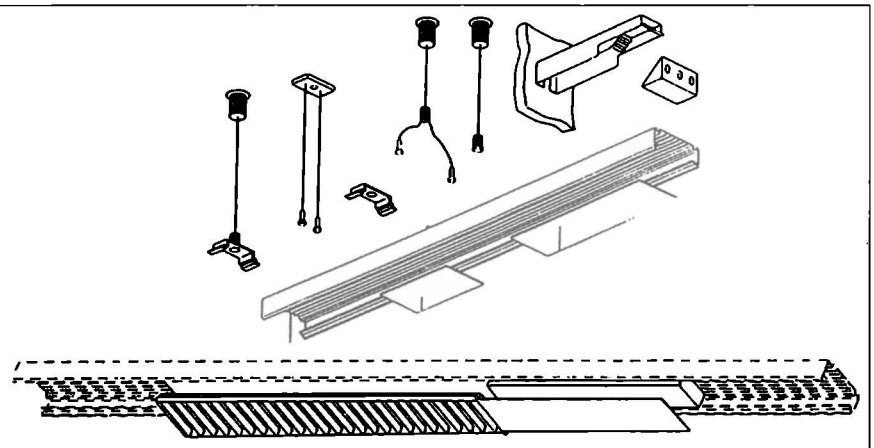


Fig. I.5.11. Structuri spațiale cu AIL înglobate.

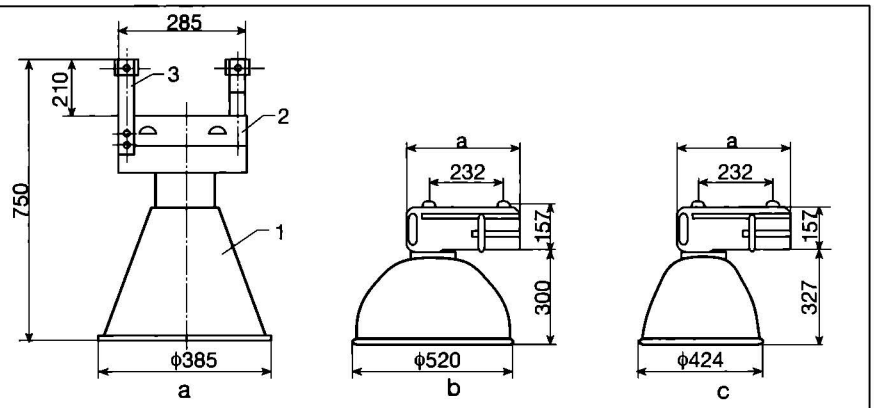


Fig. I.5.13. AIL industriale:
a - tip ELBA; b și c - tipuri PHILIPS;
1 - dispozitiv optic (reflector) din tablă deschis la partea inferioară;
2 - aparataj; 3 - dispozitiv de prindere.

5.3. Aparatele pentru iluminatul exterior

Se clasifică în două grupe principale pentru:

- iluminatul public (stradal);
- iluminatul suprafețelor îndepărtate, denumite proiectoare.

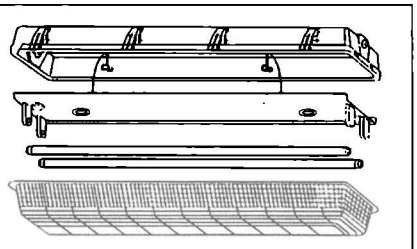
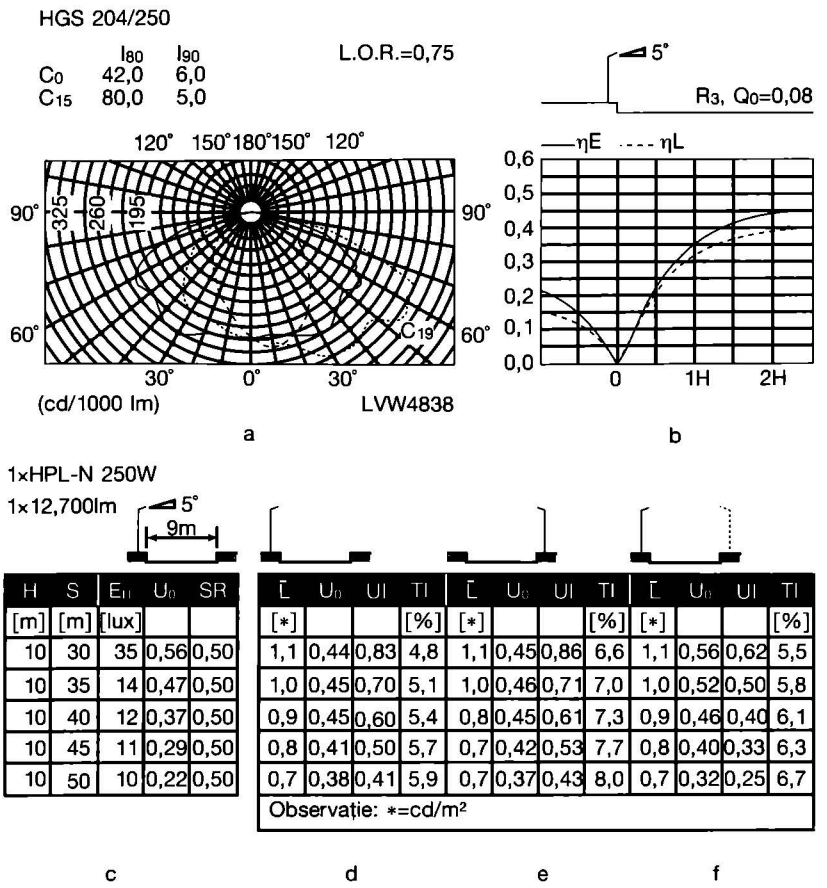


Fig. I.5.12. AIL protejat și etanș.



H [m]	S [m]	E_m [lux]	U_0	SR
10	30	35	0,56	0,50
10	35	14	0,47	0,50
10	40	12	0,37	0,50
10	45	11	0,29	0,50
10	50	10	0,22	0,50

c

L [*]	U_0	UI	TI [%]
1,1	0,44	0,83	4,8
1,0	0,45	0,70	5,1
0,9	0,45	0,60	5,4
0,8	0,41	0,50	5,7
0,7	0,38	0,41	5,9

d

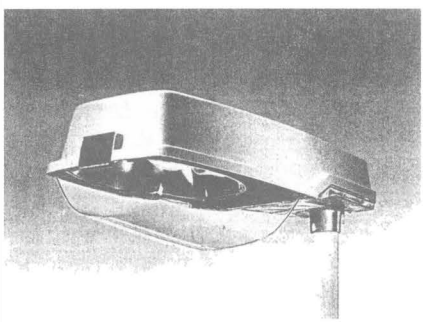
L [*]	U_0	UI	TI [%]
1,1	0,45	0,86	6,6
1,0	0,46	0,71	7,0
0,8	0,45	0,61	7,3
0,7	0,42	0,53	7,7
0,7	0,37	0,43	8,0

e

L [*]	U_0	UI	TI [%]
1,1	0,56	0,62	5,5
1,0	0,52	0,50	5,8
0,9	0,46	0,40	6,1
0,8	0,40	0,33	6,3
0,7	0,32	0,25	6,7

Observație: *=cd/m²

f



g

Fig. I.5.14. Aparat de iluminat rutier tip MGS 204/250 (PHILIPS):
a - CDIL longitudinală și transversală, inclusiv date de calcul; b - η=f(E) sau η=f(L); c - niveluri de E obținute pentru diferite date geometrice; d, e, f - niveluri de L, U_0, U_L și T_i obținute pentru diferite date geometrice; g - AIL.

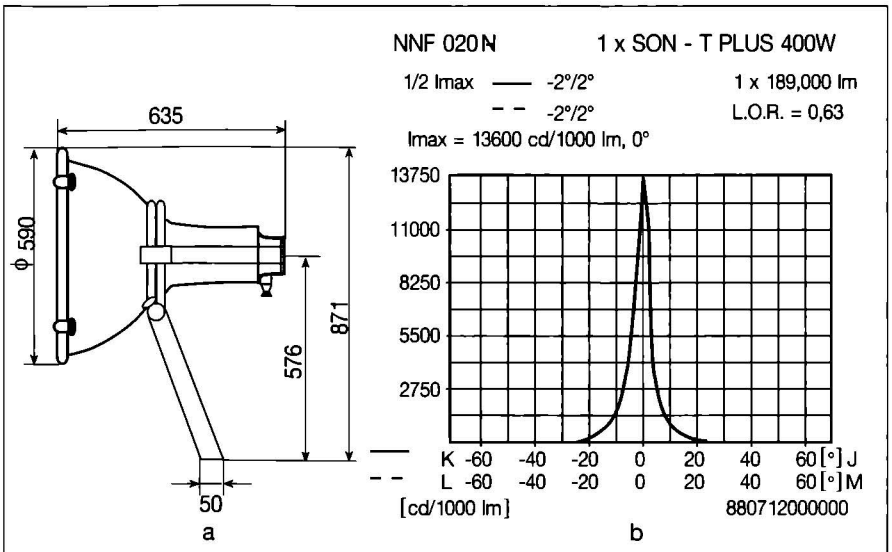


Fig. I.5.16. Proiectoare cu secțiunea fasciculului luminos circulară:
a - secțiune, b - CDIL în coordonate rectangulare.

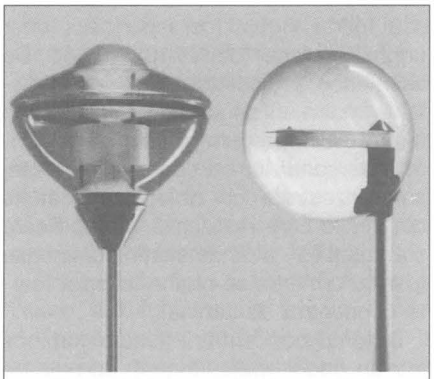


Fig. I.5.15. Lampă decorativă.

• *Aparatele pentru iluminatul public (stradal)*

În iluminatul rutier sunt utilizate aparate cu distribuție directă largă.

Pentru zonele rezidențiale și spațiile verzi se recomandă AIL cu distribuție semidirectă sau directă-indirectă. În fig. I.5.14. este prezentat aparatul de iluminat HGS 204/250 (PHILIPS) pentru iluminatul rutier.

Pentru zonele rezidențiale, un exemplu de AIL poate fi urmărit în fig. I.5.15.

• *Proiectoarele pentru iluminatul exterior* sunt destinate iluminatului suprafețelor îndepărtate de sursă. Se folosesc în iluminatul triajelor căilor ferate, iluminatul șantierelor, zonelor de lucru din porturi, terenurilor sportive etc.

Emisia fluxului luminos se realizează, de regulă, într-un unghi solid mic, obținându-se un fascicul luminos cu amplificare importantă a intensităților luminoase.

De regulă, pentru iluminatul terenurilor de sport mari (stadioane cu tribune) se folosesc proiectoare cu:
- secțiunea fasciculului luminos circulară (fig. I.5.16), atunci când proiectoarele sunt amplasate concentrat (pe stâlpi) în colțurile terenului;
- secțiunea fasciculului rectangulară (fig. I.5.17), atunci când proiectoarele sunt amplasate uniform de-a lungul laturii mari a terenului de joc.

• *Proiectoare pentru iluminatul arhitectural, festiv și alte utilizări*

Pentru iluminatul fațadelor se folosesc proiectoare asemănătoare cu cele amintite, de regulă, cu o deschidere mai mare a unghiului de emisie.

5.4. Aparate pentru iluminatul teatrelor/studiourilor

Proiectoarele destinate iluminatului tehnologic al scenelor de teatru, studiourilor cinematografice, de televiziune ș.a. sunt AIL speciale cu un sistem optic complex, cu reflector, în majoritatea cazurilor, din oglindă metalică parabolică sau elipsoidală, cu rol de concentrare a fluxului într-un unghi spațial îngust

sau foarte îngust (corespunzător unor unghiuri plane de 2x10°...2x5°). De asemenea, proiectoarele așezate la distanțe mai mari de scenă (în sală sau în fundul sălii), precum și cele de urmărire a personajelor cu spoturi luminoase, sunt înzestrate cu obiective alcătuite din lentile care realizează o amplificare substanțială a intensității luminoase (pentru urmărire se obține un spot foarte concentrat de lumină).

Datorită concentrării fluxului luminos într-un unghi spațial îngust, curbele de distribuție a intensităților luminoase se dau în coordonate rectangulare.

Pentru efectele de lumini impuse în astfel de sisteme, proiectoarele sunt echipate cu filtre colorate ce se pot schimba, comandate de la distanță. Pentru redarea excelentă a culorilor, proiectoarele destinate funcțiilor amintite se echipează cu lămpi incandescente (LIC) de construcție specială sau lămpi cu halogen (LIH). Pentru proiectoarele de orizont, se folosesc lămpile cu descărcări în xenon, datorită temperaturii de culoare cea mai apropiată de lumina albă a soarelui.

În continuare, se prezintă câteva proiectoare specializate:

- *de rampă* (pentru lumina de jos) format din mai multe AIL într-un sistem comun de montare și protecție, cu trei culori (albastru, roșu, galben) înseriate, realizate fie din sticlă colorată, fie cu lămpi colorate cu incandescență. Lămpile sunt alimentate independent (pe culoare) pentru obținerea efectelor de lumină monocromatică, bicromatică sau tricromatică; se pot echipa și cu lămpi cu reflector înglobat, caz în care aparatul de iluminat nu mai necesită reflector. Distribuția fluxului luminos este largă (extensivă).
- *de rivaltă* (pentru lumina de sus) utilizat pentru realizarea iluminatului general ambiental, al scenei sau studioului; este asemănător celui de rampă, fiind suspendat peste nivelul scenei sau studioului, utilizând surse incandescente de *100...500* W.

Pentru teatre se utilizează și rivalte cu mai multe etaje, fiecare șir de proiectoare având altă direcționare a fluxului luminos.

Pentru studiouri se folosesc grupuri compacte de rivalte, cu reflector comun pentru un șir de surse.

- *de platou* (tip clopot) utilizat pentru iluminatul de sus al anumitor zone ale scenei, prevăzute cu LIC sau LIH *500...1000* W; pot fi echipate cu lentile plan convexe pentru concentrarea fluxului și cu filtre colorate fixe.
- *de orizont* cu rolul de a realiza iluminatul suprafețelor mari ale pânzelor de fundal din teatre și studiouri T.V. Sunt echipate cu lămpi LIH sau cu descărcare, echipate sau nu cu filtre colorate (albastru saturat, albastru nesaturat, verde, galben, roșu și alb). Puterea pentru LIH este cuprinsă între *500* și *2000* W.

Pentru studiouri se utilizează și aparate de iluminat multiple mobile cu lămpi tubulare fluorescente.

- *mobil de scenă sau studio* cu rolul de a realiza un iluminat local pe zone restrânse sau de a pune în evidență un element decorativ sau de efect. Ele sunt diferite ca formă și putere. Astfel pentru iluminatul local (din apropiere) puterea LIC/LIH variază între 100 și 500 W, iar cele destinate iluminatului suprafeței fundalului de jos sunt de 1000...2000 W (cu LIH).
- *cu lentilă și oglindă* - utilizat pentru obținerea unei mari amplificări a intensității luminoase într-un unghi solid mic; de regulă, lentila sau lentilele (plan-convexe, biconvexe și Fresnel) au rolul de a concentra și dirija fluxul luminos emis. Se utilizează lentile Fresnel clare pentru obținerea unei „pete de lumină" conturate și semiobscure pentru obținerea estompării conturului „petei de lumină".

Gama de puteri este variabilă de la 100 la 5000 W și mai mult, utilizând pentru teatre lămpi LIC/LIH.

- *pentru efecte speciale.* În această categorie se înscriu proiectoarele de efecte coloristice care sunt echipate cu o casetă de filtre colorate montate înaintea obiectivului și care pot fi schimbate prin comandă de la distanță (comandă electromecanică).

Se realizează, de asemenea, proiectoare pentru reproducerea unor fenomene naturale (nori, ploaie, fulgere ș.a.) Acestea au un sistem optic complex cu mai multe lentile plan convexe și oglinzi de focalizare, rezultând un fascicul luminos foarte concentrat și uniform distribuit în secțiune. În fața obiectivului, solidar cu proiectorul, se montează caseta de efecte echipată cu un mecanism cu motor cu viteză variabilă, ce produce rotirea diapozitivului de efect. Imaginea proiectată pe pânză reproduce fenomenul natural dorit. Sursa de lumină este LIH.

În funcție de multitudinea componentelor regiei tehnice, se utilizează și proiectoare cu un grad ridicat de complexitate, cu mai multe obiective (de exemplu proiectoare de nori).

Pentru obținerea efectelor de fosforescență a unor suprafețe, se utilizează proiectoare echipate cu lămpi cu descărcări în domeniul U.V. cu balonul din sticlă Wood.

- *de urmărire.* Acesta este caracterizat

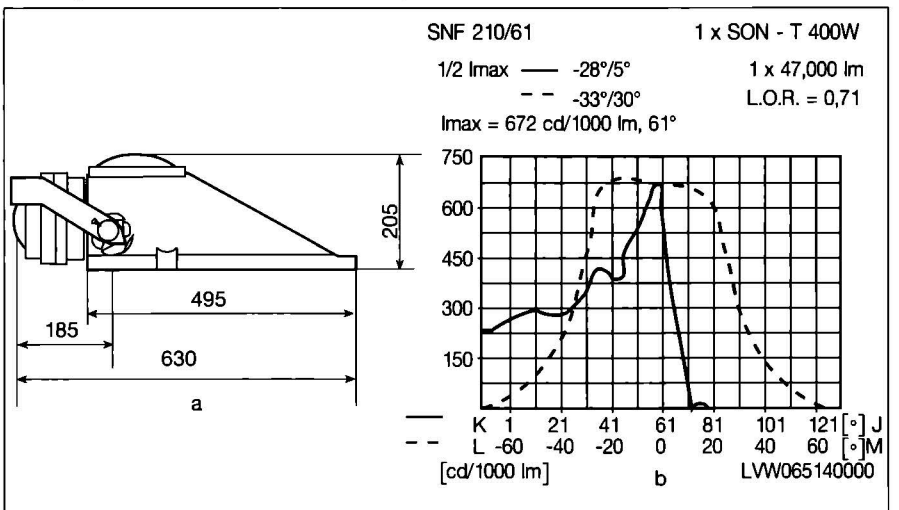


Fig. I.5.17. Proiector asimetric:
a - secțiune; b - CDIL.

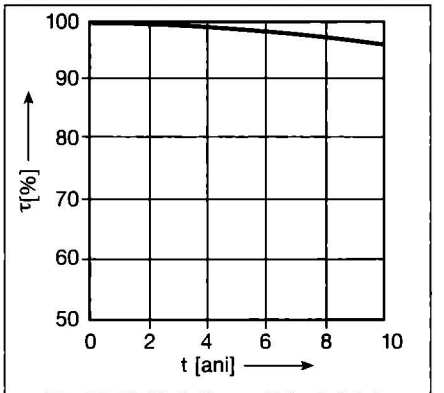


Fig. I.5.18. Variația coeficientului de transmisie, τ, a polimetacrilatului în timp.

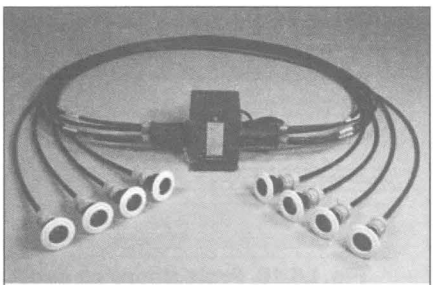


Fig. I.5.19. Generator și fibre optice.

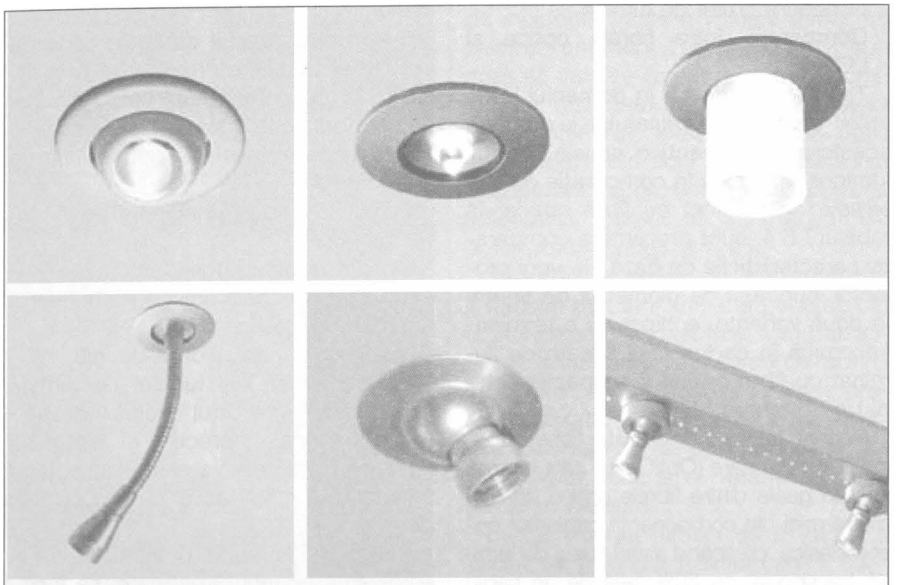


Fig. I.5.20. Tipuri de terminații optice.

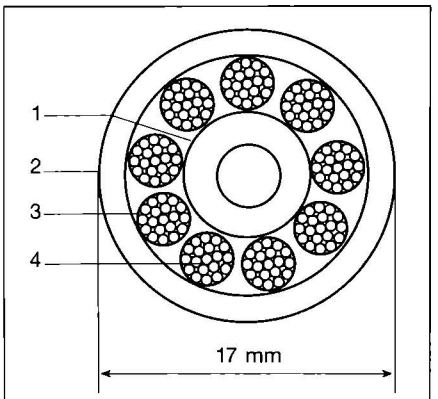


Fig. I.5.21. Secțiunea tuburilor optice: 1 - miez reflectant; 2 - strat exterior protector la radiații UV; 3 - strat protector suplimentar al fibrelor optice; 4 - fibre optice.

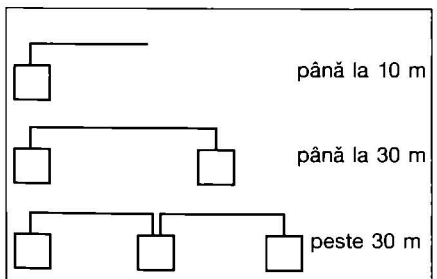


Fig. I.5.22. Folosirea generatoarelor: un generator pentru o lungime de cablu L < 10m; două generatoare pentru o lungime de cablu 10 < L < 30m; trei generatoare sunt folosite pentru o lungime de cablu L > 30m.

printr-o amplificare deosebit de mare a intensității luminoase, cu o emisie superconcentrată într-un unghi spațial foarte mic, obținută printr-un sistem complex de lentile.

Proiectoarele se echipează cu lămpi LIC/LIH. Puterea surselor cu incandescență este cuprinsă între 500 și 1500 W pentru scene de teatru și ajunge la 3000 W și mult mai mult pentru studiouri.

Varietatea proiectoarelor destinate scenelor de teatru și studiouri este cu mult mai mare decât cea prezentată.

5.5. Fibre și tuburi optice

Transportul luminii la distanță prin intermediul fibrelor optice este tot mai des folosit în iluminatul arhitectural, în mod special.

Ansamblul sistemului de iluminat cu fibre optice cuprinde:

Generatorul care conține sursa principală de lumină, care în mod uzual, este o sursă cu incandescență cu halogen sau sursă cu descărcare în vapori metalici cu adaosuri de halogenuri metalice cu indicele de redare a culorilor foarte bun (*Ra > 80*). Rolul generatorului este de a asigura alimentarea sursei propriu-zise și de a focaliza fluxul luminos emis de sursă spre zona de ieșire a fibrelor optice prin intermediul dispozitivului optic intern. Are în componența sa un filtru de raze ultraviolete, împiedicând propagarea componentei UV de-a lungul fibrelor optice astfel încât punctul luminos conține numai radiații în domeniul vizibil.

Generatorul poate fi prevăzut cu filtre colorate, în scopul obținerii unor efecte speciale.

Ansamblul de cabluri are rolul de a conduce numai fluxul luminos de la generator la zona dorită a fi iluminată. Cablurile pot fi de diferite lungimi sau diametre, în funcție de nivelul de iluminare necesar și de numărul de cabluri aferente generatorului. Este caracterizat de: lungime (la cerere), diametrul conductelor flexibile (cel mai utilizat fiind cel de 5 mm), numărul de fibre optice, raza maximă de curbură (15 mm), unghiul optic de deschidere (30°).

Cablurile sunt realizate din polimetilmetacrilat - material ce asigură transmisia foarte bună a luminii și păstrează intacte calitățile sursei de lumină (temperatura de culoare și redarea culorilor), oferind o înaltă eficacitate datorită deprecierii sale foarte mici, în timp.

Graficul din fig. I.5.18. indică deprecierea fluxului luminos într-un sistem de fibre optice putându-se folosi la estimarea nivelului de iluminare cu cabluri mai lungi de 2 m, punctul de calcul fiind considerat la 2 m de generator. Acest sistem este folosit cu succes în iluminatul diferitelor obiecte ale căror culori se degradează sub acțiunea UV (tablourile dintr-o expoziție, muzeu). De asemenea, căldura degajată de sursă, în generator, nu este transportată de-a lungul fibrelor optice, motiv pentru care acestea se folosesc la iluminatul vitrinelor casetate (casete cu exponate dintr-un muzeu, magazin) nemaifiind nevoie de ventilarea acestora.

Ansamblul de terminații optice. Acestea au rolul de a dirija fluxul luminos spre zona de interes (fig. I.5.20). Pentru efecte speciale ele pot fi însoțite de lentile sau filtre colorate. Acestea sunt caracterizate de: formă, modul și diametrul de încastrare, unghiul lentilei Fresnel, focalizare sau nu (fig. I.5.19). Deci fibrele optice pot fi folosite în iluminatul general (la un nivel scăzut al iluminării), de accentuare, pentru exponate din muzee și aplicații exterioare ca fațade de clădiri, fântâni arteziene, domeniul industrial și medicinal.

Tuburile optice, a căror secțiune este detaliată în fig. I.5.21, înlocuiesc cu succes tuburile cu neon ale firmelor luminoase. Ele sunt însă mult mai ușor de folosit la accentuarea conturului, fiind flexibile. Sunt folosite deci pentru: direcționare, iluminat de contur, reclame luminoase, semnale luminoase.

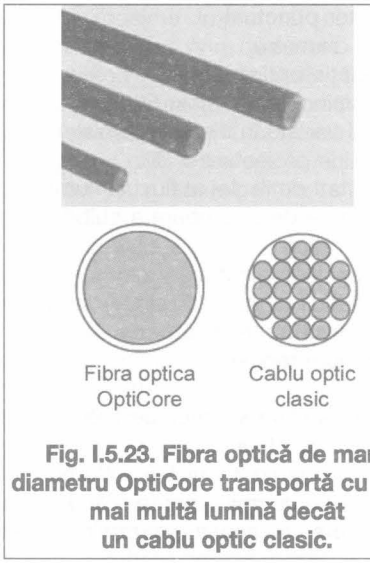


Fig. I.5.23. Fibra optică de mare diametru OptiCore transportă cu 50% mai multă lumină decât un cablu optic clasic.

Aplicații: fațade ale clădirilor, piscine, poduri, grădini etc. Pentru efecte coloristice se pot utiliza filtre amplasate în generatorul aferent. În funcție de lungimea fibrelor optice, în sistemul de iluminat se amplasează un anumit număr de generatoare conform schemei din fig. I.5.22.

Avantajele principale ale sistemelor de iluminat cu fibre optice sunt:
- economie de energie pentru iluminat - soluțiile de iluminat cu fibre optice pot reduce consumul de energie în comparație cu iluminatul convențional;
- sustenabilitate - 97% din sursa de lumină se reutilizează; componentele chimice și sticla se reciclează;
- eliminarea degajărilor de căldură și a razelor UV - ansambluri de fibre optice și filtre pot elimina toate radiațiile infraroșii și ultraviolete din radiația transmisă către sarcina vizuală;
- multitudine de scheme cromatice și efecte decorative - fibrele optice pot aduce o cromatică dinamică, animată și pot da viață unui proiect și adesea sunt utilizate doar în acest scop;
- dimensiuni reduse și adaptabilitate - soluțiile de iluminat cu fibre optice pot fi utilizate acolo unde soluțiile convenționale de iluminat nu sunt posibile sau adecvate;
- siguranță / securitate mult mărită - generatorul de lumină este singura componentă a sistemului de iluminat cu fibre optice care necesită conectarea la o sursă de curent electric; cablurile optice nu transportă energie electrică și nu necesită protecție electrică, putând fi instalate în deplină siguranță în orice proiect, inclusiv în medii acvatice;
- menținere redusă – un singur generator de lumină alimentează mai multe terminații optice, operațiunile de menținere reducându-se doar la nivelul generatorului de lumină.

Comparație între fibrele optice și LED-uri.

Tehnologia actuală în domeniul LED-urilor destinate iluminatului le conferă acestora (în prezent) o emisie de flux luminos mai mică în comparație cu sistemele de iluminat cu fibre optice. În tabelul I 5.4. sunt prezentate comparativ caracteristicile de bază ale unui proiector punctual cu diametrul de 50mm în două variante: echipat cu o terminație optică în cadrul unui sistem de iluminat cu fibre optice și respectiv echipat cu o lampă LED.

Recent au fost dezvoltate fibre optice cu diametru mare (OptiCore), care elimină spațiile goale dintre fibrele optice de diametre mici din componența cablurilor optice clasice, crescând astfel fluxul de lumină transportat cu 50% față de un cablu optic de același diametru (fig. I 5.23).

5.6. Tuburi de lumină

Tubul de lumină reprezintă o sursă secundară de lumină care transmite lumina de la sursa primară (naturală sau electrică) în spațiul de interes, către un obiectiv specific sau către anumite suprafețe reflectante sau transmițătoare. Transmisia luminii se realizează la capătul tubului, unde lumina este distribuită sau direcționată în funcție de particularitățile sarcinii vizuale sau prin transfer lateral către obiectivele specifice.

Transportul luminii de la un capăt la celălalt al tubului se realizează prin fenomenul de reflexie internă totală (repetată), eficiența acestui sistem fiind foarte mult influențată de reflectanța materialului.

Există trei tipuri principale de tuburi de lumină:
- tub din aluminiu oglindat;
- tub cu film optic polimeric multistrat montat la interior;
- tub flexibil spiralat din aluminiu.

Printre avantajele tubului de lumină se numără transportul exclusiv al radiațiilor luminoase, precum și faptul că nu transportă energie electrică, putând fi instalat în medii acvatice sau cu risc de explozie.

Prin faptul că sursa de lumină se află amplasată la unul din capete, se facilitează foarte mult operațiunile de menținere a sistemului de iluminat, în special pentru spațiile unde schimbarea lămpilor din sistemele clasice de iluminat electric este dificil de realizat.

Tubul de lumină cu film optic.

Transmite radiația luminoasă în interiorul său pe baza reflexiei interne totale care se produce în structura filmului optic înfășurat cu fața prismatică la exterior și fața plană la interior (fig. I.5.24). În funcție de aplicație, se alege o structură a filmului optic care să permită transmisia laterală de-a lungul tubului a razelor de lumină cu unghiuri

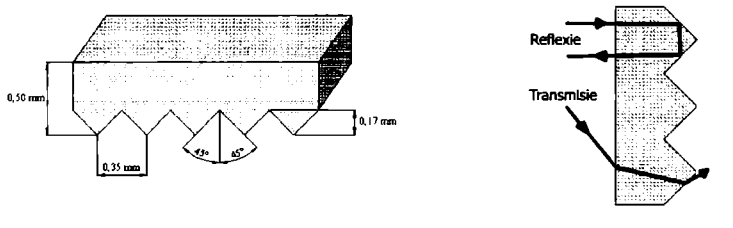


Fig. I.5.24. Structura și principiul de funcționare a filmului optic.

Tabel I 5.4. Comparație între fibrele optice și LED-uri.

Proiector punctual	Proiector punctual
50mm diametru	50mm diametru
Terminație optică	Lampă LED
Flux luminos emis max. 500 lm	Flux luminos emis max. 150 lm
Opțiuni variate în alegerea emisiei de flux luminos în faza de proiectare a SIL	Opțiuni limitate în alegerea emisiei de flux luminos în faza de proiectare a SIL
Posibilități de reglaj al fluxului luminos emis	Posibilități de reglaj al fluxului luminos emis
Posibilitate de schimbare a culorii luminii emise, max. 8 culori	Posibilitate de schimbare a culorii luminii emise, milioane de culori
Fără tensiune electrică	Joasă tensiune electrică
Eliminarea radiațiilor IR și UV din fluxul emis	Eliminarea radiațiilor IR și UV din fluxul emis
Dispozitivul nu se încălzește	Dispozitivul se încălzește
Dimensiuni reduse	Dimensiuni în funcție de mărimea LED-ului și de managementul termic
Durată de viață a lămpii de 5.000-12.000 ore	Durată de viață a lămpii de peste 50.000 ore
Necesită menținere	Nu necesită menținere
Flux luminos emis după 50.000 ore în funcție de menținere și de vârsta lămpii – poate fi 100% din fluxul inițial	Flux luminos emis după 50.000 ore de 70% din fluxul inițial
Eficacitate luminoasă realizabilă peste 50 lm/W	Eficacitate luminoasă realizabilă de 30 lm/W

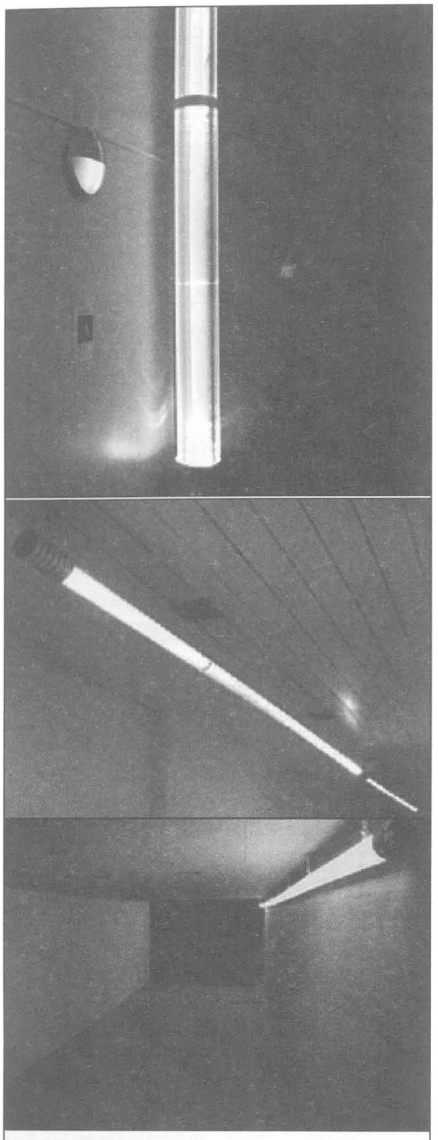


Fig. I.5.25. Exemple de utilizare a tubului de lumină cu film optic.

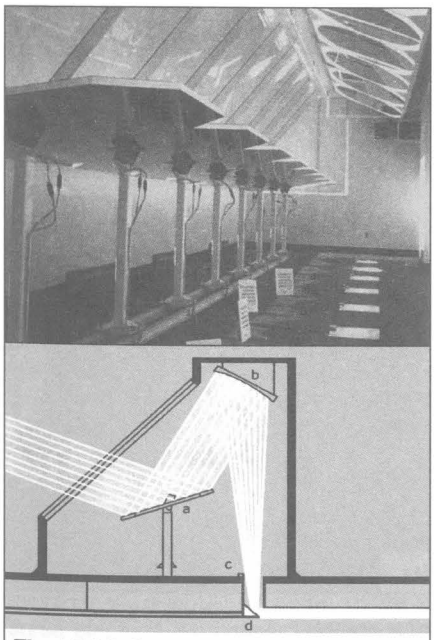


Fig. I.5.26. Structura unui sistem integrat de iluminat cu tuburi de lumină.

de incidență peste o valoare limită, iar pentru unghiuri de incidență sub această valoare limitată razele de lumină sunt reflectate de filmul optic înapoi către interiorul tubului. Filmul optic este realizat din acril sau policarbonat transparent cu grosimea de 0,5mm iar reflectanța tubului de lumină cu film optic poate ajunge la 0,98.

Tuburile de lumină cu film optic pot fi folosite atât în iluminatul general, cât și în iluminatul arhitectural sau publicitar. Prin utilizarea unei surse de lumină cu o distribuție a fluxului luminos precis focalizată, lumina poate fi transportată total sau parțial prin reflexie la celălalt capăt, aflat la o distanță maximă de 20 m de sursă.

Există diverse tehnici de extracție a luminii de-a lungul tubului care îi conferă acestuia o luminanță scăzută și uniformă (fig. I.5.25).

Tuburile de lumină cu film optic pot fi echipate atât cu surse de lumină electrice, cât și cu dispozitive optice conectate la sisteme de captare a luminii naturale pentru realizarea iluminatului natural și a iluminatului integrat natural – electric.

În cele ce urmează este prezentat un exemplu de sistem de iluminat integrat cu tuburi de lumină. Elementele de captare a luminii naturale reprezintă unitatea funcțională de cea mai mare importanță din punctul de vedere al cantității de lumină naturală captată. Acestea sunt astfel construite încât să urmărească în mod eficient poziția soarelui pe cer prin rotația în jurul axului vertical și/sau în jurul axului orizontal (fig. I.5.26) și sunt numite heliostate. Lumina solară captată de heliostate (a – cu oglinzi plane) este apoi focalizată de un sistem de oglinzi parabolice (b), care o reflectă către sistemul de transfer cu tuburi de lumină prin deschideri în plafon (c) și coturi oglindate (d) situate sub fiecare deschidere.

Sistemul de iluminat este de asemenea echipat cu surse de lumină electrice, capabile să compenseze variabilitatea permanentă a luminii naturale. Urmând semnalele provenite de la fotocelulele aflate în deschideri (c), unitatea de control pune în funcțiune una sau două lămpi cu descărcări în vapori de mercur la înaltă presiune cu adaos de halogenuri metalice de 400 W, pentru a suplimenta sau a înlocui iluminatul natural în cazul în care cerul este acoperit sau după lăsarea întunericului. Aceste lămpi sunt situate în punctul d, la capetele tuburilor de lumină.

Tubul solar.

Pentru un transport simplu și eficient al luminii naturale către spațiile interioare, s-au dezvoltat sisteme specifice pentru aplicații în acoperiș și fațadă,

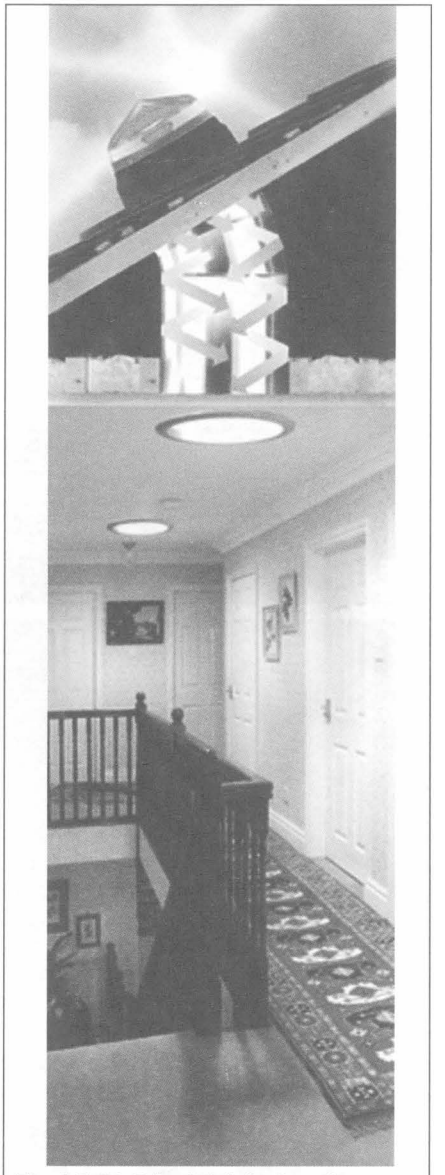


Fig. I.5.27. Principiul de funcționare a tuburilor solare.

cunoscute sub numele de tuburi solare. Acestea reprezintă un caz particular al tuburilor de lumină din aluminiu oglindat, fiind realizate din aluminiu 0,5mm grosime impregnat cu argint pur și stabilizat prin depunere de vapori, având reflectanța 0,98. Tuburile solare maximizează conceptul de energie regenerabilă prin concentrarea și transportul prin reflexie a luminii directe solare și a luminii difuze a cerului (fig. I.5.27).

Prevăzut cu coturi reglabile și cu o suprafață interioară oglindată super-reflectantă (reflectanță 98%), tubul solar captează, focalizează și reflectă lumina naturală, distribuind-o apoi uniform în interior printr-un difuzor microprismatic. Odată instalat, poate ilumina orice spațiu interior fără nici un cost. În funcție de caracteristicile arhitecturale ale proiectului, captarea luminii se poate face fie la acoperiș (înclinat sau orizontal, din orice fel de material), fie la



Fig. I.5.28. Exemple de aplicații realizate cu ajutorul tuburilor solare:
a – spații pentru locuit; b – spații pentru învățământ; c – clădiri de birouri; d, e – spații comerciale; f – spații de circulație; g, h – efecte luminoase în structuri arhitecturale.

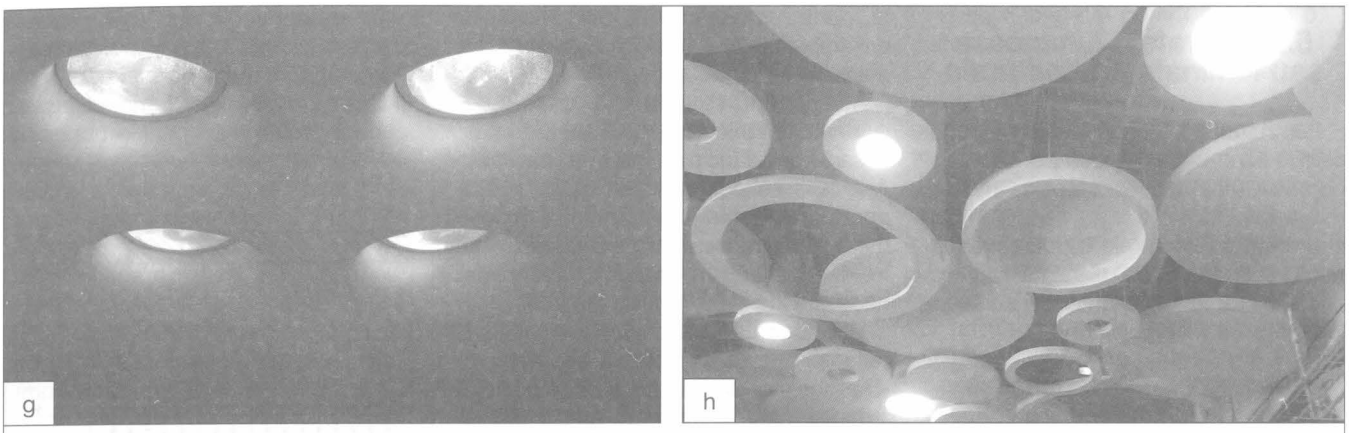


Fig. I.5.28. Exemple de aplicații realizate cu ajutorul tuburilor solare:
g, h – efecte luminoase în structuri arhitecturale.

fațadă, printr-un dom de captare de tip diamant, compus din prisme plane și prisme verticale. Prismele verticale sunt amplasate pe circumferința domului și permit captarea luminii solare dimineața și seara, atunci când soarele se află aproape de linia orizontului. Tubul solar prezintă avantajul de a capta și de a focaliza, pe lângă lumina directă solară, și lumina difuză a cerului, astfel încât se poate realiza iluminatul oricărui spațiu interior în orice condiții meteorologice.

Există și alte tipuri de astfel de tuburi de lumină care transportă către interiorul clădirilor lumina naturală captată la exterior, la care domul de captare este de formă semisferică. În acest caz datorită formei domului, captarea luminii solare și în special a celei difuze a cerului este mai puțin eficientă decât în cazul domului de tip diamant.

Tuburile solare sunt sisteme de iluminat pasive, fără piese în mișcare, cum este cazul sistemelor cu tuburi de lumină și heliostate prezentate mai sus, ceea ce conduce la eliminarea costurilor de funcționare și a celor de menținere.

Prin utilizarea tuburilor solare se obține o importantă economie de energie. Studiile și cercetările realizate au arătat că consumul global de energie electrică poate scădea cu până la 75-80%, în funcție de tipul clădirii și condițiile meteorologice specifice locației proiectului.

Tuburile solare permit diminuarea fluxului luminos sau chiar obturarea completă a luminii provenite de la tub (acolo unde este necesar: săli de proiecție, spații de recreere etc.) prin două modalități: montarea manuală pe difuzorul luminos a unui capac opac cu prindere magnetică; utilizarea unui sistem motorizat de variere a fluxului luminos cu o clapetă cu poziție variabilă montată în tub. Pentru situația de seară și de noapte, se poate utiliza o sursă electrică de lumină, amplasată în tubul solar printr-un suport special oglindat care nu afectează reflexia luminii naturale în tub pe timpul zilei.

Tuburile solare cunosc o gamă largă de aplicații practice, putând fi instalate cu ușurință în spații pentru locuit (case, apartamente, hoteluri), instituții de învățământ (școli, universități), clădiri de birouri, săli de conferințe, spații comerciale, spitale și centre de sănătate, spații industriale, săli de sport etc. În fig. I.5.28 sunt prezentate câteva exemple de utilizare a tuburilor solare, în care se remarcă realizarea unei distribuții uniforme a iluminării în planul util care conduce la un confort vizual ridicat, precum și posibilitatea realizării de efecte luminoase prin integrarea difuzoarelor luminoase de plafon în structuri arhitecturale specifice.

Tuburile solare pot fi combinate cu ventilația naturală, ajungându-se astfel la diminuarea substanțială sau chiar eliminarea costurilor de energie și la un confort mult sporit al utilizatorilor. Fig. I.5.29 prezintă schema sistemului combinat de iluminat natural și ventilare naturală, în care se poate observa la interior tubul solar, iar în jurul acestuia conducta de ventilare prin care circulă curenții de aer proaspăt (rece) și curenții de aer uzat (cald), datorită principiului natural al circulației aerului pe baza diferenței de presiune / temperatură / densitate.

Un avantaj deosebit al sistemelor de iluminat cu tuburi de lumină îl reprezintă posibilitatea realizării unui iluminat natural chiar și pentru incinte care nu au contact cu spațiul exterior (cu utilitate practică deosebită în asigurarea eficienței energetice pentru spații subterane de tipul pasajelor și parcărilor subterane, tuneluri, stații de metrou etc.), conducând la scăderea substanțială a consumului global de energie electrică și la creșterea confortului vizual și ambiental.

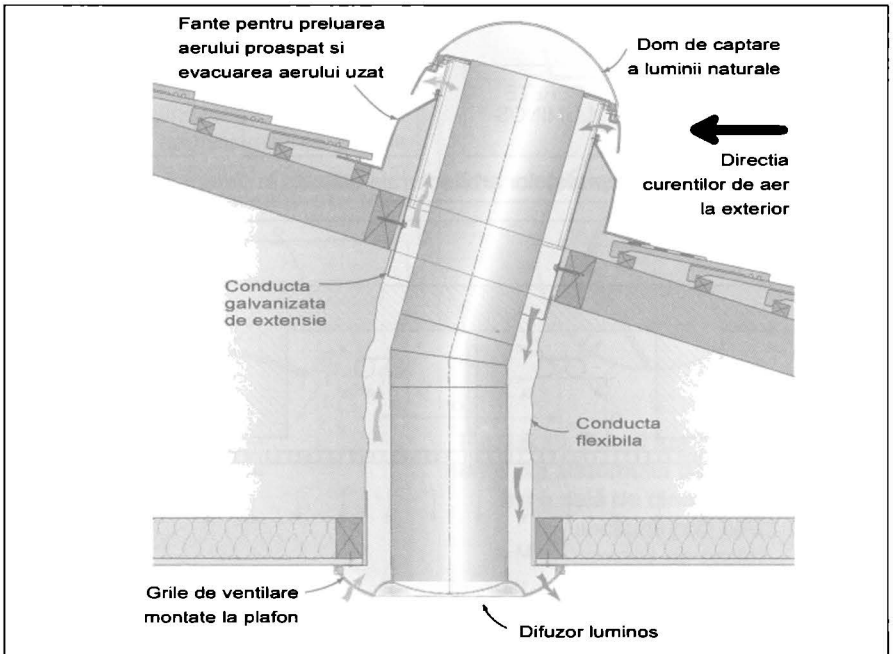


Fig. I.5.29. Principiul de funcționare a sistemului combinat care realizează simultan iluminatul natural și ventilarea naturală a spațiilor interioare.

5.7. Suprafețe luminoase sau luminate arhitecturale

Pentru unele încăperi aferente unor clădiri care necesită componente decorative (săli de spectacole, muzee, magazine, locuințe ș.a.) se pot utiliza suprafețe arhitecturale ca surse de lumină secundare ce transmit sau reflectă fluxul luminos emis de surse de lumină primare (fig. I.5.30).

5.7.1. Suprafețe luminoase

Plafoane luminoase

Plafonul luminos este un element arhitectural realizat dintr-o placă transmițătoare din module, suspendată de plafonul de rezistență al construcției (fig. I.5.31). Modulele pot fi confecționate dintr-un material transparent opal sau clar, cu model și suprafață de difuzie sau din grătar difuzant.

Panoul difuzant continuu oferă avantajul unei emitanțe constante, dublate de un aspect plăcut, dar pierderile prin absorbție sunt relativ mari (30...40 %), iar deprecierea prin prăfuire, rapidă.

Suprafața interioară a cavității plafonului necesită o culoare albă, reflectantă, pentru îmbunătățirea randamentului ansamblului care lucrează ca un aparat mare de iluminat.

Atunci când se utilizează aparate de iluminat cu reflector (tip FIRA) este necesară o adâncime mare a cavității. Așa cum se poate urmări în fig. I.5.32 pentru realizarea unei iluminări uniforme a plăcii transparente la o distanță între axe de 0,65 m, rezultă o adâncime necesară de 0,83 m a cavității.

Utilizarea aparatelor de iluminat fără reflector, tip FIA, are două avantaje:
- se pot monta mai distanțat, fluxul luminos fiind uniformizat prin reflexia de ansamblu a cavității plafonului dacă a = (1,5...2);
- investiția este mai scăzută.

În funcție de unghiul de protecție al grătarului difuzant se poate determina b_{min} (fig. I.5.33) pentru asigurarea protecției vizuale în cazul utilizării AIL tip FIA. Practic, întotdeauna, $b \geq b_{min}$ datorită condițiilor de uniformitate amintite. Plafoanele luminoase din placă continuă difuzează foarte bine fluxul luminos realizând o distribuție uniformă a iluminărilor. Un dezavantaj este acela că imaginea obținută este „plată", fără relief. Plafoanele luminoase cu grătar difuzant oferă o imagine mai bine conturată, datorită difuziei mai reduse. Acestea din urmă oferă și posibilitatea integrării cu climatizarea încăperii.

Utilizarea plafoanelor luminoase presupune investiții mari pentru obținerea

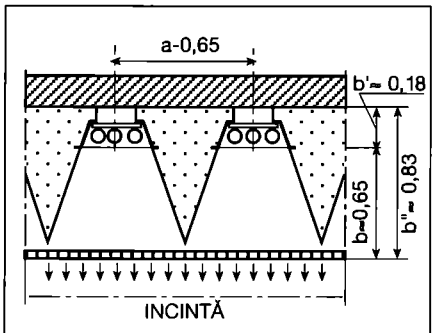


Fig. I.5.32. Detaliu de plafon luminos echipat cu AIL gen FIRA.

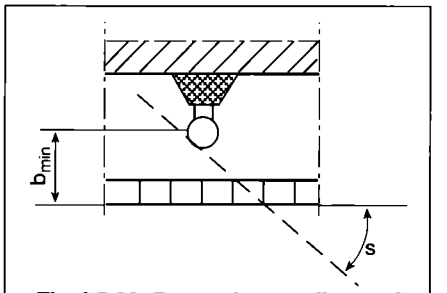


Fig. I.5.33. Determinarea distanței minime b_{min} în funcție de unghiul de protecție vizuală.

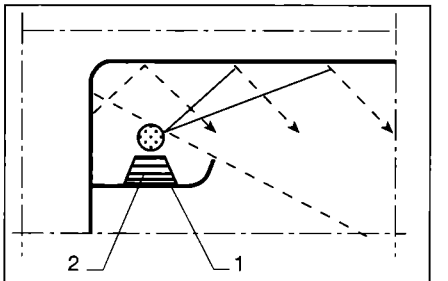


Fig. I.5.34. Scafă de lumină indirectă: 1 - element de susținere și mascare; 2 - aparat de iluminat.

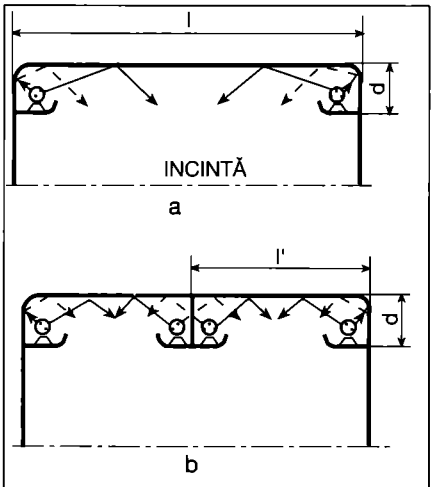


Fig. I.5.35. Plafoane luminate: *a - scafe pe contur; b - scafe pe fâșii longitudinale sau transversale.*

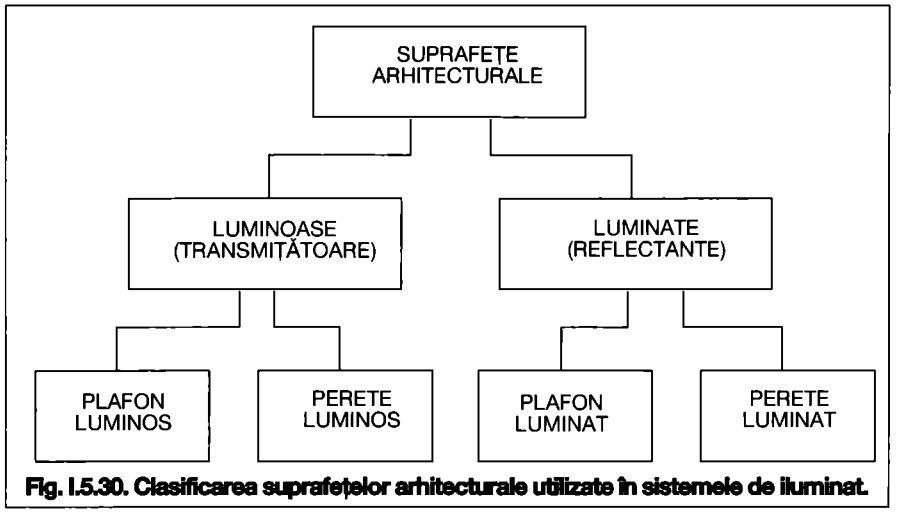


Fig. I.5.30. Clasificarea suprafețelor arhitecturale utilizate în sistemele de iluminat.

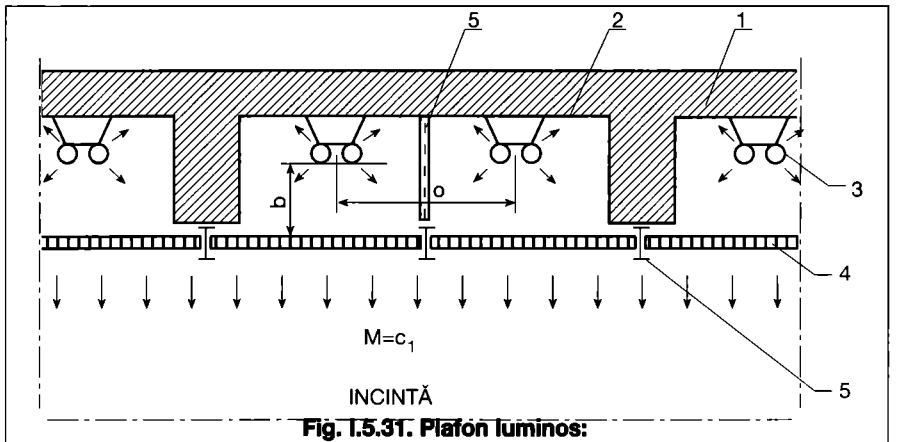


Fig. I.5.31. Plafon luminos:
1 - structura de rezistență; 2 - suprafața interioară; 3 - aparate de iluminat fluorescente; 4 - placa transmițătoare; 5 - elemente de prindere.

aceloraşi niveluri de iluminare cu aparatele clasice. Aceasta, deoarece densitatea de aparatele de iluminat la plafon este mare, pe de o parte, şi pe de altă parte, elementele modulate ale plafonului împreună cu elementele de susţinere a acestora sunt foarte pretenţioase pentru o realizare artistică reuşită.

Domeniul de aplicare este restrâns; nivelurile ridicate şi modelarea redusă impun aceste sisteme pentru sălile de expoziţii de mare valoare artistică, vitrine importante, ateliere de pictură ş.a.

Perete luminos

Este rar utilizat, fie ca element decorativ (perete luminos sau zone de perete luminos), fie pentru punerea în evidenţă, prin transparenţă a unor exponate sau a conturării lor, fie pentru obţinerea unui efect luminos colorat într-un local de divertisment.

Toate aspectele expuse pentru plafonul luminos sunt valabile şi în acest caz, cu observaţia că pentru realizarea lor trebuie utilizate materiale perfect difuzante, cu transmitanţă scăzută, pentru ca luminanţa surselor de lumină să fie mult diminuată, în scopul protejării vizuale.

5.7.2. Suprafeţe luminate

Anumite suprafeţe arhitecturale: pereţi, plafon sau porţiuni din ele, pot servi ca surse de lumină secundare pentru iluminatul general al unei încăperi sau drept componente adiţionale pentru obţinerea unui sistem de iluminat confortabil.

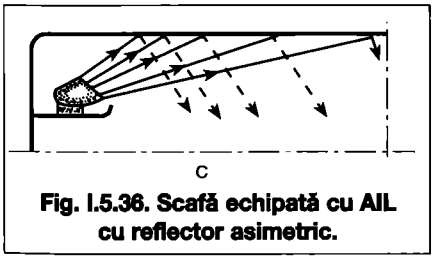


Fig. I.5.36. Scafă echipată cu AIL cu reflector asimetric.

Plafoanele luminate

Se obţin utilizând scafe de lumină ce pot lumina plafonul sau zone din acesta, condiţionate de rezolvarea din punctul de vedere estetic al arhitecturii încăperii.

În fig. I.5.34 este reprezentată scafa de lumină indirectă, componentă arhitecturală care maschează sursa de lumină astfel încât să nu poată fi privită direct. Acest ansamblu reprezintă, de fapt, un aparat de iluminat liniar care face parte din construcţie şi care distribuie indirect fluxul luminos.

Suprafaţa interioară a scafei, dacă aparatul de iluminat este simplu şi sursa este liberă, trebuie să fie albă, perfect difuzantă, pentru mărirea randamentului.

Sistemul poate fi montat pe conturul încăperii (fig. I.5.35 a). Pentru obţinerea unei uniformizări acceptabile a emitanţei plafonului, poziţia scafei trebuie să respecte condiţia $d>1/3\ l$. Uneori, aceasta conduce la montarea scafei la o înălţime scăzută faţă de pardoseală, ceea ce face ca scafa să devină inestetică. Pentru reducerea distanţei, d, există 2 posibilităţi:

- fragmentarea plafonului în fâşii luminate (fig. I.5.35 b) şi montarea de scafe în câmpul acestuia;
- echiparea scafei cu aparate de iluminat cu reflector cu distribuţie asimetrică (fig. I.5.36) . În acest caz este suficientă condiţia $d=(1/5...1/8)\ l$ (în funcţie de tipul reflectorului).

Scafele se pot echipa, în mod uzual, cu surse punctiforme câte 6 lămpi pe m, în cazul utilizării sursei libere în dulie, sau 3 aparate pe m, în cazul utilizării aparatelor cu distribuţie asimetrică. Dacă se utilizează lămpi fluorescente, acestea se vor monta „cap la cap" sau „petrecute" pentru a evita umbrele.

Pe lângă cele enunţate, scafa mai trebuie să îndeplinească condiţiile:

- să distribuie neuniform intensităţile către plafon (intensităţi mai mici în zona apropiată şi intensităţi mai mari în zona depărtată) pentru a realiza o uniformitate a iluminării plafonului;
- să prezinte un unghi de protecţie corespunzător;
- să poată fi curăţate uşor de praf (pentru a evita producerea petelor de praf ars, în special deasupra lămpilor cu incandescenţă; scafele şi lămpile trebuie curăţate cel puţin o dată la 30 de zile).

Un alt exemplu de plafon luminat este dat în fig. I.5.37 unde se poate urmări un fragment din secţiunea longitudinală a unui plafon decorativ al unei săli polivalente. Astfel, de plafonul de rezistenţă, 1, este atârnat plafonul fals (decorativ) 2, în care se formează scafele unde sunt montate aparatele de iluminat cu reflector, 4, care realizează o emitanţă uniformă a acestuia. Pentru iluminatul direct se utilizează aparatele de iluminat cu reflector, 5.

Utilizarea plafoanelor luminate este mai restrânsă datorită consumurilor energetice mari ale acestora şi caracteristicilor luminotehnice specifice (iluminat difuz, fără contraste, imagine plată, fără reflectarea obiectelor în spaţiu).

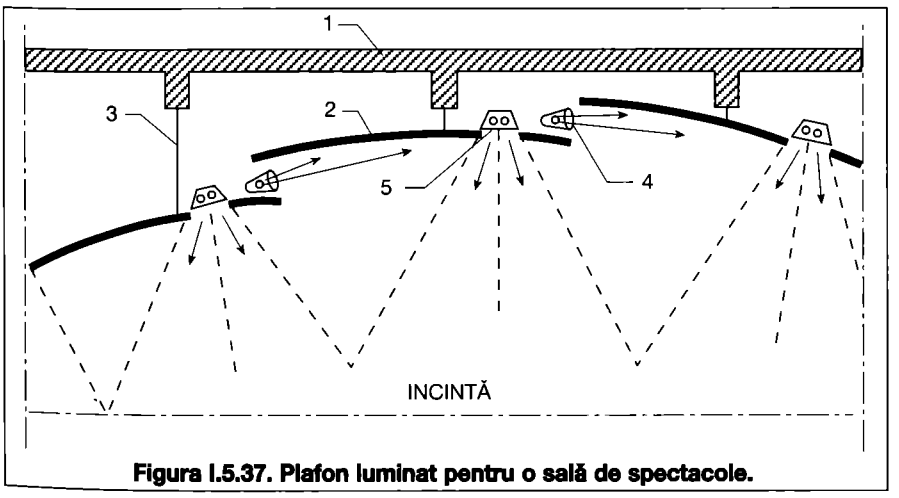


Figura I.5.37. Plafon luminat pentru o sală de spectacole.

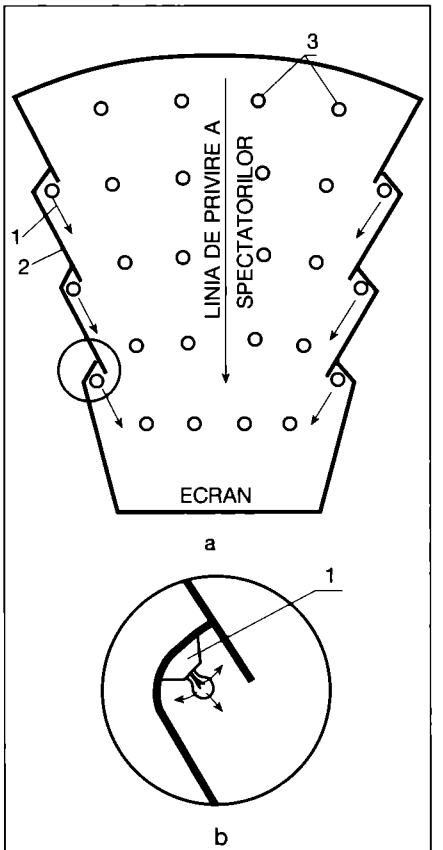


Fig. I.5.38. Pereţi luminaţi, componente ale sistemului de iluminat pentru o sală de cinematograf:
a - secţiune prin sală;
b - detaliu de scafă;
1 - aparat de iluminat simplu cu lampă cu incandescenţă sau lampă fluorescentă tubulară; 2 - fâşie de perete luminată de o scafă verticală; 3 - aparat de iluminat punctual cu distribuţie directă.

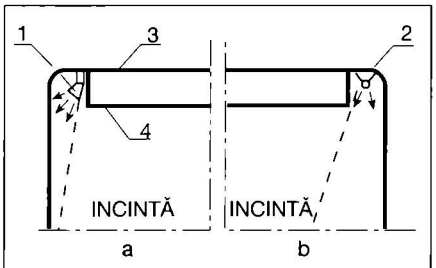


Fig. I.5.39. Pereți luminați pentru efecte decorative cu scafe orizontale:
a - scafă cu aparat de iluminat cu reflector nesimetric;
b - scafă cu aparat de iluminat;
1 - reflector nesimetric; 2- aparat de iluminat; 3 - plafon de rezistență; 4 - plafon fals.

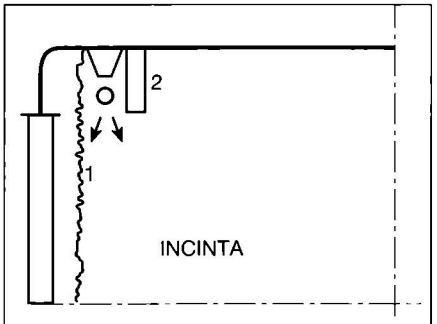


Fig. I.5.40. Draperie/perdea/jaluzele, 1, iluminate cu aparat de iluminat fluorescent tubular mascat de galeria, 2.

Sistemul se adoptă în cazul în care se dorește fie realizarea iluminării și punerii în evidență a unui plafon decorativ, fie diminuarea contrastelor și realizarea unui ambient luminos, echilibrat.

Sistemul poate fi utilizat, de asemenea, în scopuri pur decorative pentru marcarea unui plafon sau a unei zone din acesta utilizând surse de mică sau foarte mică putere.

În birourile moderne, cu calculatoare personale cu ecran, pentru evitarea reflexiei de voal, se vor utiliza plafoane și pereți luminați folosind alte soluții, indicate în §.11.2.2.

Pereții luminați

Pereții luminați se realizează prin scafe de lumină verticale sau orizontale. Pereții luminați emit fluxul prin reflexie către încăpere, creând o ambianță luminoasă plăcută, odihnitoare și confortabilă. Se folosesc ca elemente adiționale (de completare confortabilă, estetică sau de efect) ale sistemului de iluminat, principal, al încăperii.

În fig. I.5.38 este dat un exemplu de pereți luminați cu scafă verticală, la o sală de cinematograf, unde aceștia sunt utilizați ca o componentă a sistemului general.

Spectatorii, privind în sensul și direcția marcate (către ecran), nu văd sursele de lumină din scafe.

Pentru punerea în evidență a unui perete decorativ sau a unor exponate plate (picturi) se pot utiliza scafele orizontale dirijate direct către perete (fig. I.5.39) echipate cu aparate de iluminat speciale (fig. I.5.39 a) sau obișnuite simple (fig. I.5.39 b).

Utilizarea lămpilor cu incandescență de mică și foarte mică putere conduce la sisteme estetice agreabile.

Pentru realizarea unui efect de lumină de zi, în condiții de noapte sau seară, se recomandă sistemul din fig. I.5.40.

Sursele de lumină fluorescente sunt mascate de galeria perdelei sau draperiei, acestea reflectând lumina către încăpere.

Montarea mascată a unei scafe de lumină în spatele unei mobile, în interiorul unei vitrine sau unei nișe, poate conduce la efecte plastice deosebite (§.11).

5.8. Montarea aparatelor de iluminat

Condiții de alimentare și montare a aparatelor de iluminat (AIL)

AIL se conectează la circuitul de alimentare prin cleme de conexiune. La contactul exterior (partea filetată) a duliei lămpii se va lega conducta de nul a circuitului, iar la borna din interior a duliei, conducta de fază, trecută prin întreruptor.

Dispozitivele pentru suspendare (cârlige, tije, dibluri, holdșuruburi etc) se vor alege astfel încât să suporte, fără deformări, o greutate egală cu de 5 ori greutatea aparatului de iluminat ce urmează a fi fixat, dar cel puțin 10 kg. Se interzice suspendarea aparatului prin conducte de alimentare; fac excepție aparatele prevăzute cu conducte, șine de alimentare și susținere în execuție specială, pentru acest scop.

AIL se montează astfel încât să permită accesul ușor la lampă în vederea înlocuirii acesteia și în vederea întreținerii.

În cazul montării aparatelor de iluminat pe elemente combustibile (lemn, materiale plastice) între aparat și acestea trebuie introdusă o placă de

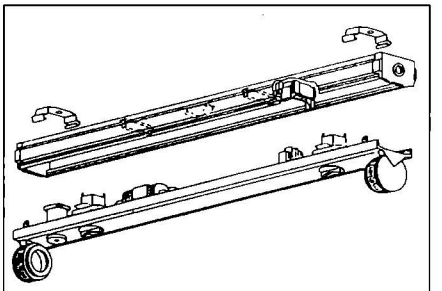


Fig. I.5.42. Aparat de iluminat fixat cu ajutorul pieselor metalice elastice.

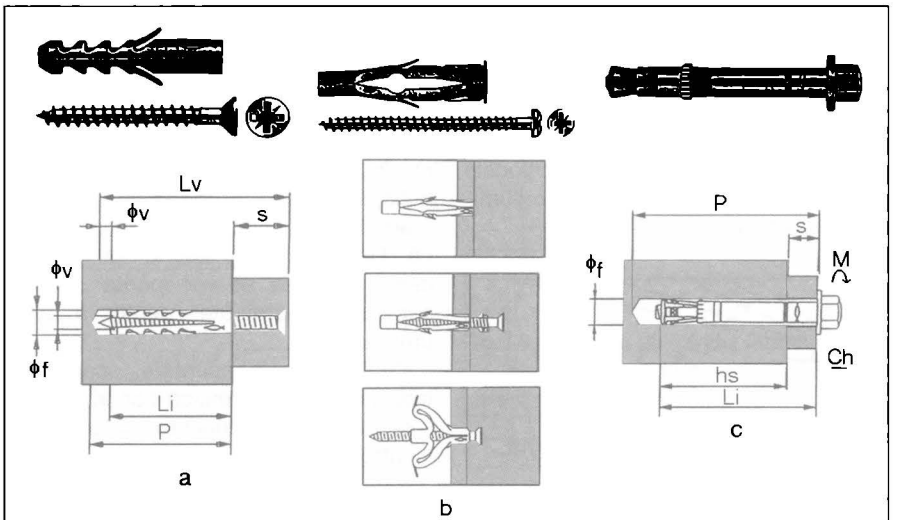


Fig. I.5.41. Dibluri folosite la montarea AIL.

Tabelul I.5.5. Modul de prindere a AIL în funcție de elementul de construcții

Tipul elementului de construcții	Element de prindere
Beton	Dibluri plastic Dibluri metal Bolțuri împușcate
Cărămidă	Dibluri plastic Dibluri metal Dibluri lemn
Elemente ușoare - ipsos	Dibluri speciale din plastic Dibluri speciale din metal
Metal	Șuruburi cu piuliță Nituri pop Șuruburi autoperforante
Lemn	Șuruburi autofiletante

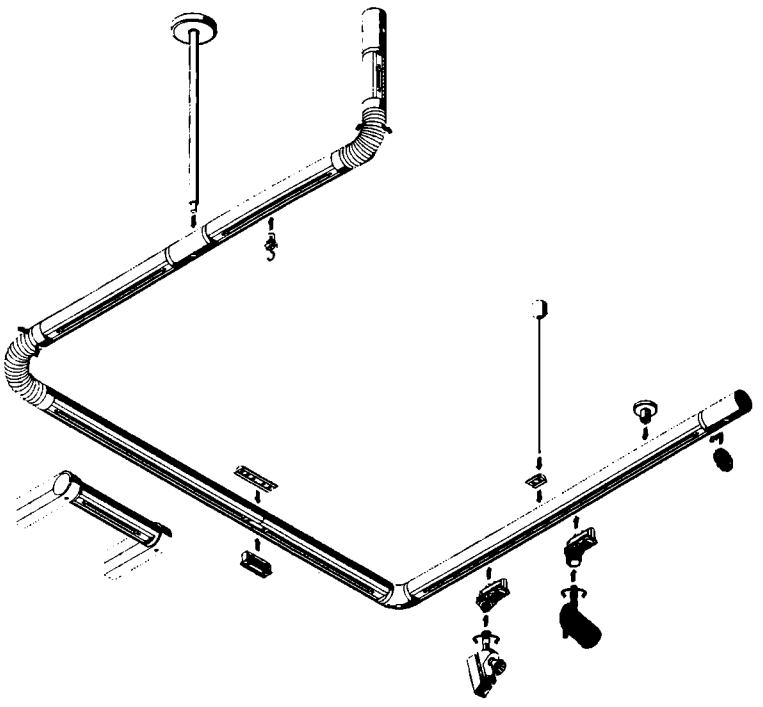


Fig. I.5.43. Sistem „șină" cu elemente de conectare.

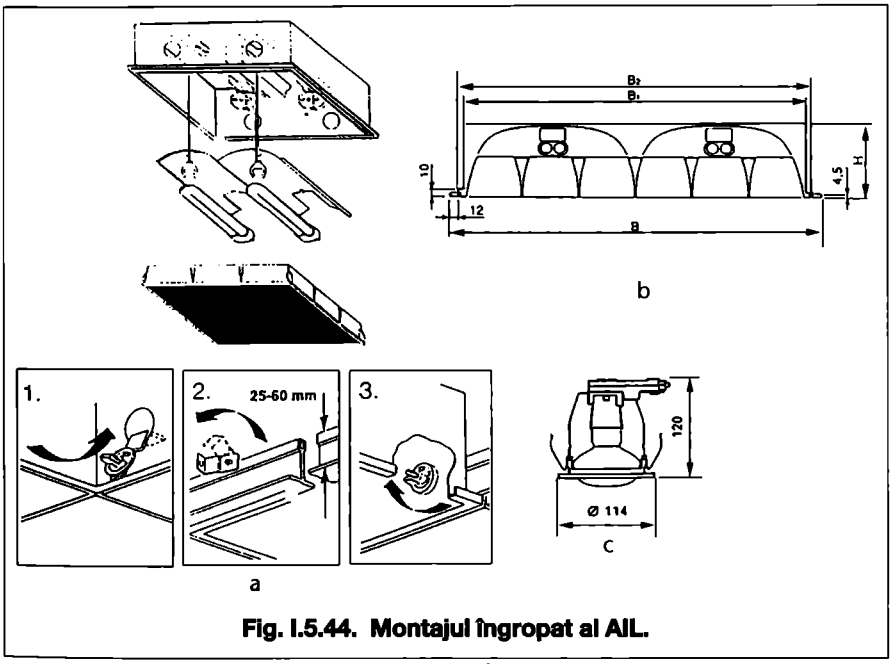


Fig. I.5.44. Montajul îngropat al AIL.

protecție izotermică și incombustibilă (ex., azbest) pentru evitarea posibilității de incendiere a elementului de construcții (I.7 și Normativ PCI).

Montarea pe și în elementele de construcții

În funcție de tipul de prindere (tab. I.5.5), montarea poate fi făcută direct sau cu elemente intermediare.

În fig. I.5.41 sunt prezentate câteva tipuri de dibluri ce pot fi folosite în montarea aparatelor de iluminat. Diblul de plastic este folosit pentru aparatele de iluminat ușoare, pe elemente de construcție cu o bună rezistență. Găurile se realizează cu mașini rotopercutante, pentru a asigura cilindricitatea locașului unde se va fixa diblul. Holdșurubul care fixează aparatul de iluminat se montează prin înfiletare sau prin batere și poate avea diverse lungimi și diametre și diverse capete (fig. I.5.41 a). Diblul de plastic pentru fixarea aparatului de iluminat în pereți ușori (de tip gipscarton) are aripioare care se curbează, facilitând prinderea (fig. I.5.41 b). Diblurile din metal sunt folosite atunci când AIL sunt grele și este necesar un grad sporit de rezistență și siguranță (fig. I.5.41 c).

De cele mai multe ori, în montarea aparatului de iluminat se folosesc elemente intermediare de prindere. Astfel, se folosesc piese metalice de fixare care se montează pe elementele de construcție. Prinderea aparatului de iluminat se face ușor (de exemplu, prin presare ca în fig. I.5.42).

Tot pentru a ușura montarea, dar și pentru a permite modificarea configurației sistemului de iluminat, se folosesc cabluri din oțel (a căror lungime poate fi reglată). Aparatul de iluminat se fixează de aceste cabluri prin elemente „coadă de rândunică", permițând culisarea elementelor de prindere. Un alt sistem de montare este cel „șină". Acesta permite atât montarea aparatului de iluminat cât și conectarea la circuitele electrice. Sistemele „șină" mai oferă și posibilitatea de a modifica poziția și orientarea aparatului de iluminat în funcție de dorința beneficiarului (fig. I.5.43). Pentru a nu putea fi atinse și crea pericol de electrocutare pentru om, șinele se montează în canale, de regulă, din material izolant. Dacă se folosesc canale metalice acestea din urmă se leagă la conducta de protecție.

Un sistem de montare foarte modern îl constituie înglobarea aparatului de iluminat în elementele de construcții. Folosind tehnologiile moderne de construcție: pereți ușori (cu grosimi de 12,5 mm), plafoane suspendate sau fixe din gipscarton sau din fibră minerală, montarea aparatului de iluminat se poate realiza direct în aceste elemente.

Aparatele de iluminat echipate cu lămpi fluorescente se pot monta în plafonul suspendat prin așezare pe elementele de susținere a structurii (fig. I.5.44). În cazul aparatelor cu dimensiuni mai mici decât distanța dintre elementele de susținere, ele se vor fixa în placa plafonului prin clemele elastice.

Montarea aparatelor de iluminat în pereți (tip gipscarton) se va realiza prin prindere cu cleme și piese metalice de fixare.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 6

Sisteme de iluminat interior

Ansamblul aparatelor de iluminat echipate cu surse de lumină corespunzătoare, amplasate după o dispunere logică într-o incintă (încăpere) dependentă de considerente funcționale și/sau estetice, în scopul realizării mediului luminos confortabil capabil să asigure desfășurarea unei activități umane (impuse) sau realizării unei anumite funcțiuni, definește noțiunea de SISTEM DE ILUMINAT.

Sistemele de iluminat se clasifică din punct de vedere funcțional (fig.I.6.1) în 2 categorii: sisteme de iluminat normal; și de iluminat de siguranță.

Sistemul de iluminat normal asigură desfășurarea normală a unei activități umane într-o incintă, conform destinației acesteia în condițiile în care iluminatul natural nu este satisfăcător.

Sistemul de iluminat de siguranță asigură fie continuarea activității, fie evacuarea incintei sau alte funcțiuni (fig.I 6.1) în cazul întreruperii alimentării cu energie electrică a iluminatului normal.

6.1. Sisteme de iluminat normal (SIL)

Sistemele de iluminat normal se pot clasifica după funcțiunile și rolul pe care le îndeplinesc în: principale și secundare (fig. I.6.1).

SIL principale asigură desfășurarea activității umane într-o încăpere, realizând un ambient luminos confortabil, funcțional și estetic.

SIL secundare se folosesc pentru delimitarea unor zone de interes și/sau realizarea de aspecte vizuale speciale (accentuare, de efect, modelare sau culoare), pentru punerea în valoare a unor obiecte sau a unor suprafețe caracteristice din incintă (arhitectural) și/sau pentru realizarea unui iluminat de ambianță (decorativ) ș.a.

Dacă SIL principale se realizează pentru orice incintă, cele secundare au un domeniu mai restrâns și se folosesc, adițional, în spații și locuri deosebite (spații comerciale, clădiri de locuit, muzee, spații pentru expuneri etc.).

SIL principale se clasifică, la rândul lor, în funcție de distribuția spațială și/sau în planul util al fluxului luminos. Sistemele pot avea o structură fixă sau una flexibilă care să permită adaptabilitatea în timp sau spațiu.

6.1.1. Sisteme de iluminat în funcție de distribuția spațială a fluxului luminos

Clasificarea sistemelor de iluminat, după distribuția spațială a fluxului luminos, se face în mod convențional, în funcție de raportul între cele 2 fluxuri semisferice (emisfera superioară Φ_s și cea inferioară Φ_i) și fluxul emis de aparatul de iluminat Φ_A.

• *Sistemul de iluminat direct (SIL-D)* se caracterizează prin proporție foarte mare de flux luminos dirijat în emisfera inferioară ($\Phi_i/\Phi_A \geq 0,9$; $\Phi_s/\Phi_A < 0,1$). Acest sistem de iluminat este eficient și economic, randamentul utilizării fluxului luminos fiind maxim pentru că acesta este dirijat direct către planul de lucru. Sistemul determină contraste mari și o bună modelare a sarcinilor vizuale tridimensionale. Datorită acestor avantaje este folosit în iluminatul industrial și la încăperi medii și înalte unde se impune o bună reliefare a produselor prelucrate, ținând seama și de caracteristicile geometrice ale sarcinilor vizuale.

SIL-D nu corespunde activității intelectuale datorită inconfortului creat de repartiția spațială neuniformă a fluxului luminos, ceea ce conduce la o distribuție necorespunzătoare de luminanțe în câmpul vizual.

• *Sistemul de iluminat semidirect (SIL- SD)* realizează o repartiție spațială mai echilibrată a fluxului luminos ($\Phi_i/\Phi_A = 0,6...0,9$; $\Phi_s/\Phi_A = 0,4...0,1$). Cu cât proporția de flux superior este mai mare cu atât distribuția ambientală a luminanțelor este mai echilibrată.

În condiții energetice, economice SIL-SD poate fi o alternativă optimă și pentru unele încăperi de lucru intelectual (laboratoare, săli de învățământ, birouri fără calculator). Este indicat încăperilor industriale de înălțimi mici sau chiar medii cu sarcini vizuale de mare și foarte mare precizie, la care ochiul trebuie menajat pentru a se evita scăderea performanței vizuale și, respectiv, a productivității muncii.

• *Sistemul de iluminat* direct-indirect (SIL-DID) determină un echilibru foarte bun al distribuției spațiale a fluxului luminos:

$\Phi_i/\Phi_A = 0,4...0,6$; $\Phi_s/\Phi_A = 0,6...0,4$

- ceea ce conduce, de asemenea, la o echilibrare confortabilă a luminanței în câmpul vizual, favorabilă desfășurării procesului de muncă intelectuală, odihnei și divertismentului, în condiții economice acceptabile din punct de vedere al consumului energetic.

• *Sistemul de iluminat semiindirect (SIL-SID)* se caraterizează printr-o repartiție a fluxului luminos cu preponderență în zona superioară:

$\Phi_i/\Phi_A=0,4...0,1$; $\Phi_s/\Phi_A=0,6...0,9$).

Poate fi acceptat pentru unele rezolvări ale unor încăperi social-culturale (de artă), locuințe, hoteluri, spitale și, nu în ultimul rând, pentru birouri moderne, datorită confortului ce-l oferă din punctul de vedere al echilibrului luminanțelor. De asemenea, reprezintă o soluție ce avantajează și efectul psihologic de mărire a înălțimii în încăperile care necesită aceasta.

• *Sistemul de iluminat indirect (SIL-ID)* se caracterizează prin fluxul luminos emis în emisfera superioară de cel puțin 90 % din fluxul luminos al aparatelor de iluminat ($\Phi_s/\Phi_A \geq 0,9$). Randamentul utilizării fluxului este minim, dar confortul realizat, din punct de vedere al distribuției luminanțelor în câmpul vizual, este maxim. Datorită acestor avantaje se utilizează pentru obținerea unor plafoane luminate decorative sau zone de plafon, în încăperi care prezintă această cerință, pentru birouri în care se lucrează, exclusiv, cu calculatoare, în scopul evitării reflexiilor parazitare de voal de pe ecranele acestora sau la accentuarea senzației de înălțime a încăperilor sau, la sălile de spectacole înalte, ca sistem suplimentar etc.

Sistemul de iluminat indirect este cel

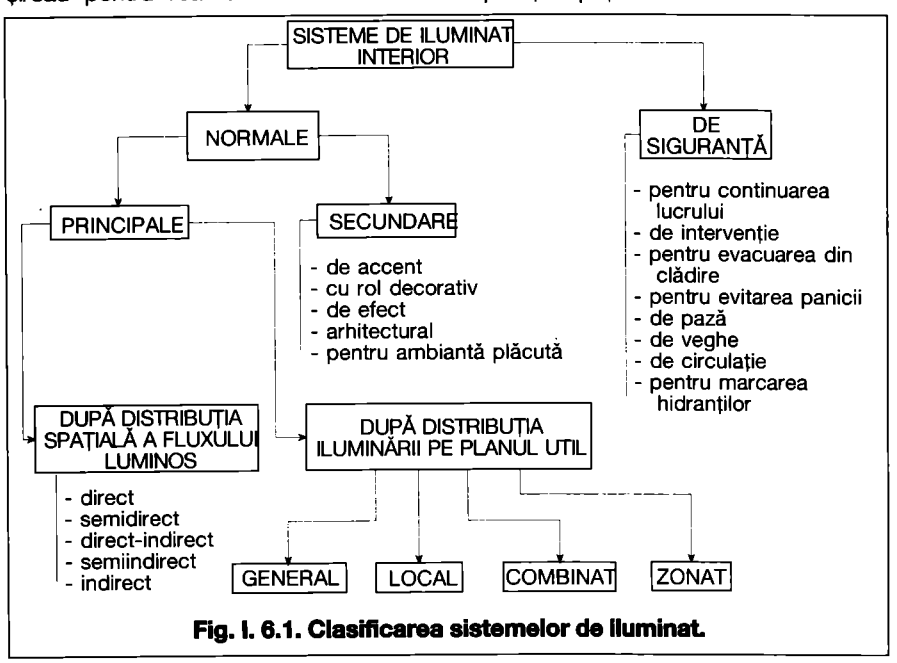


Fig. I. 6.1. Clasificarea sistemelor de iluminat.

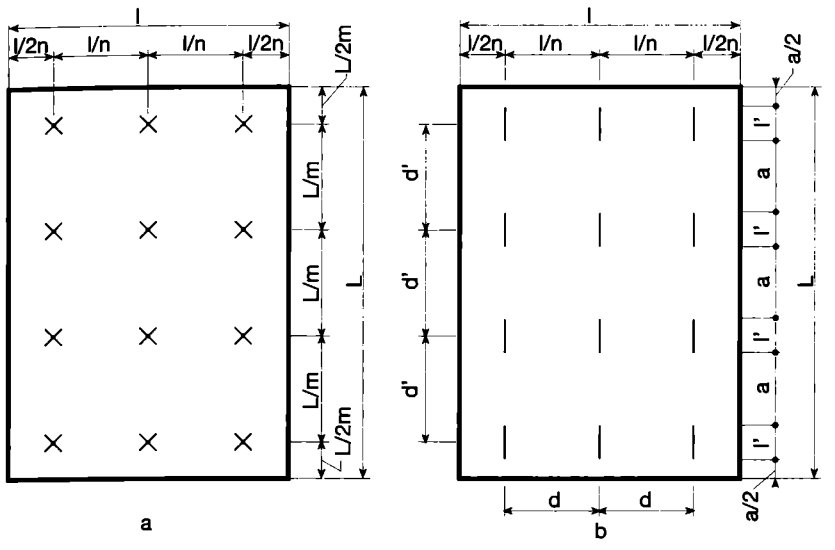


Fig. I. 6.2. SIL uniform distribuite:
a - surse punctuale; b - surse liniare.

mai costisitor energetic, dar reprezintă avantajul că uniformizează luminanțele, elimină umbrele și reduce fenomenul de orbire. Lipsa modelării poate fi un dezavantaj atunci când sarcinile vizuale sunt tridimensionale.

În cazul acestui sistem de iluminat este necesar ca suprafețele reflectante să fie de culori nesaturate (deschise) și curate pentru a se obține reflectanțe maxime.

În concluzie, de la SIL-D la SIL-ID, confortul crește substanțial, fluxul superior determinând echilibrul luminanțelor în câmpul vizual, dar costurile de investiție și, în special, de exploatare vor fi, de asemenea, mai ridicate.

Rămâne ca inginerul de iluminat să aleagă, de la caz la caz, în funcție de aspectele cantitative și calitative determinante, soluția optimă.

6.1.2. Sisteme de iluminat în funcție de distribuția fluxului luminos/iluminării în planul util

• *Sistemul de iluminat general, uniform distribuit* se caracterizează printr-o repartiție uniformă a fluxului luminos în planul util, respectiv, printr-o uniformitate mare a iluminării.

Sistemul se realizează printr-o amplasare simetrică a aparatelor de iluminat punctuale sau liniare în planul plafonului (fig. I.6.2).

Se impune ca pentru o distribuție relativ uniformă, distanța dintre două șiruri alăturate să fie dublă față de distanța dintre perete și șirul apropiat de acesta. De asemenea, din aceleași considerente, în cazul șirurilor luminoase cu discontinuități se recomandă ca $d \leq 1{,}5$ h, în care h reprezintă înălțimea de montaj a surselor deasupra planului util, iar, d, distanța dintre șiruri (fig. I.6.3).

Datorită uniformității distribuției fluxului luminos, sistemul este confortabil, dar necesită o investiție mare și consumuri energetice ridicate, în special, în cazul spațiilor de dimensiuni mari.

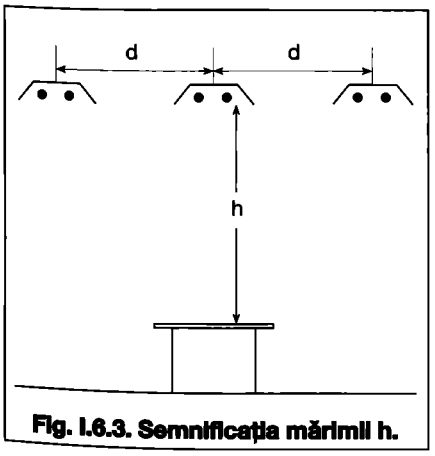


Fig. I.6.3. Semnificația mărimii h.

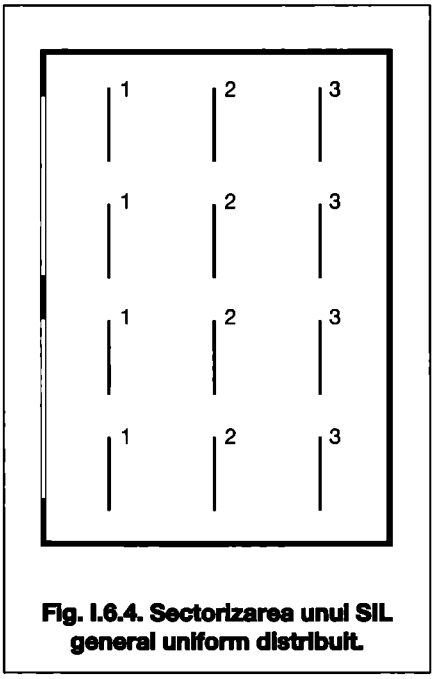


Fig. I.6.4. Sectorizarea unui SIL general uniform distribuit.

Se utilizează, în special, în încăperile aferente clădirilor social-culturale (săli de spectacole, lectură, jocuri, holuri, foaiere etc.), săli de sport, hale industriale în care se desfășoară un singur tip de activitate care, de regulă, necesită niveluri de iluminare mici sau medii.

De aceea, astfel de sisteme trebuie să permită sectorizarea aprinderii aparatelor de iluminat prin comenzi manuale/automate putând forma un sistem integrat de iluminat electric și natural.

Astfel, în cazul unei încăperi cu un perete vitrat, sistemul fiind echipat cu surse liniare sau punctuale, conectarea și deconectarea circuitelor se va realiza în șiruri paralele cu zona vitrată, de regulă, coliniare cu raza vizuală a subiecților (fig. I.6.4). În această situație, conectarea se realizează pe șiruri, în ordinea stabilită în funcție de scăderea nivelului iluminării naturale (3-2-1), iar deconectarea în sens invers (1-2-3), în funcție de creșterea nivelului iluminării naturale.

În unele încăperi din clădirile social-culturale, unde aspectul estetic este determinant, se pot realiza distribuții asimetrice impuse de plastica arhitecturală a incintei.

• *Sistemul de iluminat general localizat sau zonat* este o variantă a sistemului de iluminat general ce se realizează prin concentrarea aparatelor de iluminat în zona de lucru cu o distribuție neuniformă a iluminării în planul util și anume:

- iluminări ridicate în zonele efective unde se realizează procesele de muncă (tehnologice) și iluminări scăzute în spațiile de circulație și depozitare. Dacă în hala industrială se desfășoară mai multe procese de muncă cu sarcini vizuale diferite, sistemul de iluminat se divizează în mai multe fracțiuni, caracteristice ca nivel de iluminare fiecărei zone, corespunzătoare sarcinii vizuale specifice.

În fig. I.6.5 se poate urmări un exemplu de SIL localizat, practicat în industrie pentru încăperile cu înălțimi medii sau mari; dezavantajele sunt de

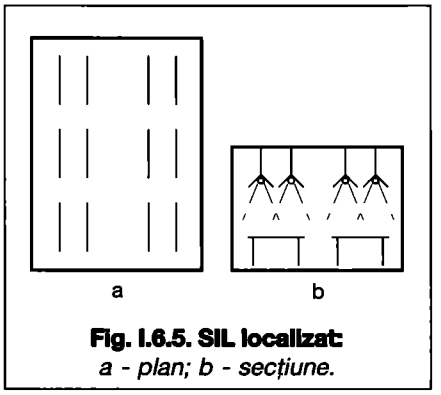


Fig. I.6.5. SIL localizat:
a - plan; b - secțiune.

confort (AIL apropiate de câmpul vizual central) și de estetică (neglijabilă în industrie).

În fig. I.6.6 este prezentat un alt exemplu cu astfel de sisteme. Acesta are 4 zone diferite, mărginite de zone de circulație, fiecare constituind un sistem independent, cu iluminări diferite. Avantajul sistemelor de acest tip este economia de energie, dezavantajul fiind distribuția neuniformă a luminanțelor în câmpul vizual, diminuate de distanțele mari.

O altă variantă este sistemul de iluminat localizat asimetric dirijat ce se realizează cu aparate de iluminat liniare montate în funcție de locul de muncă, în așa fel încât fluxul să fie concentrat către suprafața efectivă de lucru (fig. I.6.7).

Sistemul este aplicabil pentru spațiile sau încăperile destinate muncii intelectuale (proiectare, învățământ, unele laboratoare, birouri etc.) în care un perete (de regulă, cel din stânga lucrătorilor) este vitrat, iar locurile de muncă (la birouri, planșete, pupitre etc.) sunt fixe.

Sistemul prezintă următoarele avantaje:
- aceeași direcție și sens ca iluminatul natural, prin amplasarea aparatelor de iluminat paralel cu ferestrele și pe direcția razei vizuale a lucrătorilor;
- fluxul fiind receptat din stânga lucrătorului este favorabil activității simulându-se, cel mai adesea, iluminatul natural;
- permite realizarea unui sistem integrat economic, cu comandă manuală sau automată, prin asigurarea posibilității de conectare pe șiruri, în trepte (de exemplu, dacă iluminatul natural scade, se pune în funcțiune numai șirul 2) sau prin reglaj fin al fluxului SIL;
- este eficient prin concentrarea fluxului luminos pe zona de lucru neglijându-se zona de circulație sau depozitare ($E_1 > E_2$);
- șirul de lângă ferestre poate fi montat înclinat ceea ce conduce la o mai bună utilizare (economică) a fluxului, evitându-se pierderile de flux prin fereastră; sistemul nu corespunde totdeauna din punct de vedere estetic;
- șirul de la ferestre poate fi montat obișnuit (cu axul vertical); în acest caz este necesară o distanță minimă față de peretele vitrat de 0,7...1 m; pentru evitarea pierderilor de flux, noaptea, este indicată utilizarea draperiilor cu reflectanță mare;
- soluția modernă constă în utilizarea, pentru șirul marginal a AIL cu distribuție asimetrică a intensităților luminoase, care realizează o distribuție similară cu cea a AIL înclinat. Astfel de aparate prezintă și un aspect estetic corespunzător;
- sistemul prezintă și calități din punct de vedere al eliminării reflexiei voalate pe suprafețele de lucru plane datorită unghiurilor de incidență favorabile.

Proiectarea modernă presupune realizarea unor sisteme de iluminat flexibile care se pot adapta în timp și/sau spațiu la unele schimbări funcționale sau recompartimentări (birouri și similare), la schimbări determinate de estetică, mentalitate, stil, de asemenea variabile în timp (spații comerciale, muzee, locuințe) sau la schimbări tehnologice (industriale).

În toate clădirile moderne (indiferent de destinație) este necesar să se realizeze posibilitatea echipării cu un sistem de iluminat flexibil care să permită:
- modificarea poziției AIL (fixe relativ), la coordonate spațiale diferite în funcție de necesități sau dorințe în timp (spații comerciale, muzee, expoziții, locuințe ș.a.);
- modificarea poziției AIL mobile pe o anumită direcție (montaj pe șină/canal);
- schimbarea AIL cu altele mai moderne (performante);
- modificarea parametrilor sursei de lumină prin sisteme de reglaj al fluxului, manual sau automat;
- modificarea geometriei unor AIL sau focalizării sursei în interiorul AIL.

O variantă de SIL general localizat o reprezintă SIL direcționat în care fluxul luminos este dirijat pe o anumită direcție preferențială fiind realizat cu aparate de iluminat oglindate echipate cu surse liniare sau surse de tip *spot luminos*.

Sistemul se utilizează atunci când sunt necesare:
- modelarea și accentuarea unor obiecte sau exponate tridimensionale;
- realizarea de umbre și/sau contraste pentru a modela (reliefa) forma sau textura unor exponate;
- pentru iluminatul unor suprafețe reflectante care devin astfel suprafețe emisive servind la realizarea unor efecte ambientale sau locale.

Sistemul direcționat poate fi utilizat și în completarea iluminatului general uniform distribuit din încăperile unor clădiri social culturale pentru ruperea monotoniei acestuia și punerea în evidență a unor exponate sau a unor elemente de plastică arhitecturală.

• *Sistemul de iluminat local* are ca scop realizarea unui nivel ridicat de iluminare numai pe suprafața restrânsă de lucru (masă, planșetă, banc de lucru, mașină-unealtă, zonă de control tehnic etc.) unde sarcinile vizuale sunt de precizie mare și foarte mare, iar, uneori, chiar în cazul celor normale.

Pentru diminuarea contrastelor de luminanță inconfortabile, iluminatul local este utilizat, totdeauna, în completarea unui sistem de iluminat general de nivel redus, ansamblul devenind astfel un sistem de iluminat *combinat* care, schematic, este prezentat în fig. I.6.8.

Sistemul de iluminat local este economic pentru că sursa este foarte apropiată de sarcina vizuală realizându-se niveluri mari și foarte mari de iluminare, la consumuri energetice reduse. Având în vedere aceste aspecte se recomandă utilizarea iluminatului local în următoarele cazuri (de regulă, la încăperi cu lucru manual):
- sarcini vizuale de precizie mare și foarte mare;
- suprafețe care reprezintă un anumit relief ce trebuie controlat;
- iluminatul general nu este suficient pentru modelarea și distingerea sar-

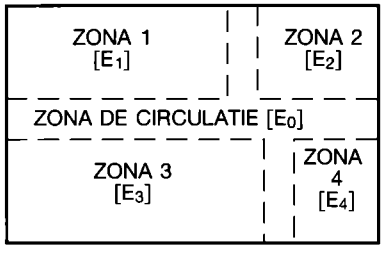


Fig. I.6.6. Schema unui SIL zonat într-o hală industrială cu 4 zone de muncă, fiecare fiind caracterizate de o altă sarcină vizuală.

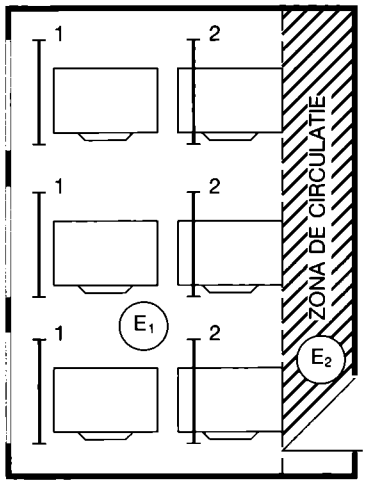


Fig. I.6.7. SIL localizat asimetric dirijat.

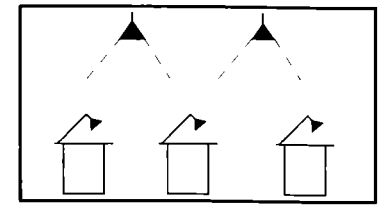


Fig. I.6.8. Schema unui SIL combinat.

cinilor vizuale;
- pentru realizarea unor niveluri ridicate necesare lucrătorilor de vârstă înaintată sau cu capacitate vizuală redusă;
- pentru toate cazurile în care, pe baza unui calcul tehnico-economic comparativ, se poate demonstra realizarea unei economii substanțiale în consumul de energie electrică.

În fig. I.6.9 sunt prezentate 9 tipuri caracteristice de iluminat local (în general, industrial) utilizând surse de lumină liniare (lămpi fluorescente de putere mică) sau lămpi cu incandescență (în special, în cazul în care se impun necesități deosebite de redare a culorilor).

Asupra celor 9 tipuri se menționează:
a - amplasarea sursei evită reflexia voalată, direcția luminii reflectate nefiind coliniară cu rază vizuală (SL1);
b - sistemul favorizează observarea detaliilor lucioase pe un fond difuzant (SL2);
c - iluminat paralel cu suprafața orizontală reliefează neregularitățile (SL3);
d - sursa de lumină de suprafață este favorabilă depistării defectelor pe o suprafață lucioasă (SL4);
e - lumina difuză produsă de panou este favorabilă urmăririi vizuale a sarcinilor din tipografii (SL5);
f - sistemul prin transparență pune în evidență neregularitățile materialelor transparente ca: stofe, țesuturi, hârtie, calc etc. (SL6);
g - sistemul utilizează efectul de siluetă pentru realizarea controlului de contur (SL7);
h - sistemul direcționat modelează corespunzător sarcina vizuală spațială (SL8);
i - sistemul, utilizând o sursă mascată de un material perfect difuzant, poate realiza un control corespunzător în cazul materialelor transparente (SL9).

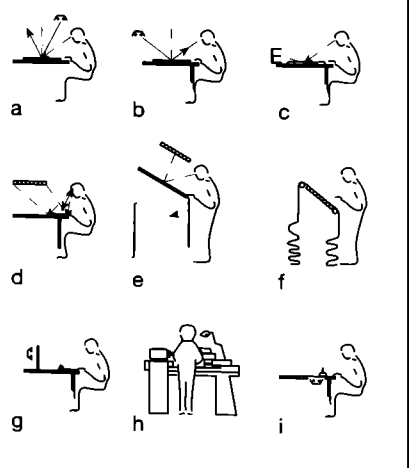


Fig. I.6.9 Sisteme de iluminat local industrial.

În capitolul 11 sunt prezentate aspecte de detaliu privind realizarea sistemelor de iluminat local utilizate în încăperile industriale.

• *Sisteme integrate de iluminat electric și natural* - se caracterizează prin utilizarea armonioasă și echilibrată a luminii naturale și electrice în cadrul sistemelor normale de iluminat interior (general și combinat) așa cum s-a amintit anterior.

Astfel, printr-o comandă automată, sistemul poate fi utilizat cu succes, conducând la importante economii. Comanda manuală este o necesitate atât pentru exploatarea rațională cât și pentru adaptarea ulterioară la sistemul automat.

Pentru încăperile de mare adâncime în care iluminatul natural nu poate permite un nivel corespunzător și uniformitate ale iluminării este necesar un iluminat electric (chiar și în zilele însorite) în zona opusă ferestrelor. Se realizează astfel condiții corespunzătoare atât ca nivel de iluminare în întreaga incintă a încăperii cât și ca echilibru al luminanțelor. Totodată se evită sau se diminuează și efectul de siluetă ce se manifestă în zona ferestrelor.

Sistemele de acest tip, denumite și PSALI (Permanent Supplementary Artificial Lighting of Interiors - iluminat electric permanent pentru interioare), sunt neeconomice prin consumul suplimentar permanent de energie electrică, dar deosebit de confortabile.

Din rațiuni de economie de energie electrică și de creștere a confortului vizual, se recomandă implementarea pe scară cât mai largă a tehnologiilor de iluminat natural atunci când structura clădirilor permite.

6.2. Sisteme de iluminat de siguranță

Sistemele de iluminat de siguranță au rolul de a funcționa atunci când iluminatul normal, alimentat de la rețeaua furnizorului, se întrerupe.

Iluminatul de siguranță se clasifică (conform SREN 1838) în:
- iluminat pentru continuarea lucrului;
- iluminat de securitate.

Acesta din urmă se clasifică în:
- iluminat pentru intervenții în zone de risc;
- iluminat pentru evacuarea din clădiri;
- iluminat pentru circulație;
- iluminat împotriva panicii;
- iluminat pentru veghe;
- iluminat pentru marcarea hidranților;
- iluminat de siguranță portabil.

Iluminatul pentru continuarea lucrului este o parte a iluminatului de siguranță prevăzut pentru continuarea activității normale, fără modificări esențiale.

Iluminatul pentru intervenții în zone de risc este o parte a iluminatului de securitate prevăzut să asigure nivelul de iluminare necesar siguranței persoanelor implicate într-un proces sau activitate cu pericol potențial și să permită desfășurarea adecvată a procedurilor de activitate pentru siguranța ocupanților zonei precum și operarea în caz de incendiu.

Iluminatul pentru evacuarea din clădire este parte a iluminatului de securitate destinat să asigure identificarea și folosirea, în condiții de securitate, a căilor de evacuare.

Iluminatul pentru circulație este parte a iluminatului de securitate destinat să asigure parcurgerea în condiții de securitate către căile de evacuare sau către zonele de intervenție.

Iluminatul împotriva panicii este parte a iluminatului de securitate prevăzut să evite panica și să asigure nivelul de iluminare care să permită persoanelor să ajungă în locul de unde calea de evacuare poate fi identificată.

Iluminatul pentru marcarea hidranților este parte a iluminatului de securitate prevăzut să permită identificarea ușoară a hidranților.

Iluminatul de siguranță portabil este parte a iluminatului de securitate destinat a fi utilizat în spațiile fără personal și este asigurat de echipament portabil prevăzut cu alimentare proprie.

Timpii de punere în funcțiune, de la întreruperea iluminatului normal, sunt următorii:
- în clădirile destinate publicului sau lucrătorilor:
  - 0,5 s până la 5 s pentru iluminatul pentru continuarea lucrului și iluminatul de intervenție în zonele de risc;
  - în mai puțin de 5 s pentru celelalte tipuri de iluminat de securitate.
- în industrie (conform STAS 12294):
  - 0,5 s până la 15 s pentru: iluminatul pentru continuarea lucrului, iluminatul de intervenție în zonele de risc și iluminatul pentru circulație - în funcție de gradul de pericol;
  - 1 s până la 15 s pentru iluminatul de evacuare și cel de marcare a hidranților - în funcție de gradul de pericol.

Timpul de funcționare, pentru toate sistemele de iluminat de securitate este de cel puțin o oră.

Timpul de funcționare al iluminatului pentru continuarea lucrului este până la terminarea activității cu risc.

Aparatele de iluminat pentru: continuarea lucrului, intervenția în zonele de risc, împotriva panicii, circulație, trebuie integrate în iluminatul normal al spațiilor respective, dar li se asigură punerea în funcționare, la întreruperea iluminatului normal, în timpul menționat

mai sus.

Aparatele de iluminat pentru: evacuarea din clădiri, marcarea hidranților, trebuie să respecte recomandările din SREN 60592-2-22 și tipurile de marcă (sens, schimbări de direcție) stabilite de Direcția Consiliului Europei 92158 EEC din 24 ianuarie 1992, transpusă prin HG 971 din 26 iulie 2006.

Sursele de alimentare pentru aparatele de iluminat de siguranță sunt:
- sursa principală de alimentare: rețeaua publică de distribuție.
- sursa de securitate (de rezervă) ce trebuie aleasă astfel încât să intre în funcționare în timpul menționat mai sus și să mențină o alimentare un timp minimum de o oră, cu excepția celui pentru continuarea lucrului care trebuie asigurat pe toată perioada lucrului cu risc.

Sursa de securitate poate fi:
- sursă locală, atunci când este conținută în aparatul de iluminat - aparat de iluminat de tip autonom (luminobloc);
- sursă centralizată, atunci când se amplasează în spații special destinate (baterie de acumulatori, UPS sau grup generator).

Aparatele de iluminat de tip autonom (executate conform SREN 60598-2-22) se alimentează pe circuite din tablourile de distribuție pentru receptoarele normale.

Pot fi alimentate și din circuite comune cu aparatele de iluminat normal. Conductoarele și/sau cablurile trebuie să fie cu întârziere la propagarea flăcării în mănunchi (conform cu SREN 50266 pe părți - de exemplu CYYF).

Aparatele și coloanele aparatelor de iluminat de siguranță alimentate din sursele centralizate se execută astfel:
- cu cabluri cu izolație minerală, conform SREN 60702 - 1 și 2;
- cu cabluri de rezistență la foc, conform cu SREN 50200, SREN 50362, CEI 60331 - 11 și 21;
- un sistem de cablaj care să-și păstreze caracteristicile de protecție mecanice și electrice la foc.

Tablourile de distribuție pentru iluminatul de siguranță, de regulă, trebuie să fie distincte de cele pentru iluminatul normal. Excepția este atunci când sunt utilizate aparate de iluminat de tip autonom.

6.2.1. Sisteme de iluminat pentru continuarea lucrului

Sistemele au rolul de a asigura continuarea procesului de muncă sau a unor activități importante la același nivel de iluminare sau la unul mai scăzut, determinat de sarcina vizuală în procesul ce nu poate fi întrerupt.

Sistemul de iluminat pentru continuarea lucrului trebuie prevăzut în următoarele situații:
a - încăperile în care întreruperea iluminatului normal poate provoca: distrugeri, explozii, incendii, pagube materiale, accidente sau victime umane;
b - sălile de operații ale spitalelor și policlinicilor;
c - laboratoarele unde au loc experimentări ce nu pot fi întrerupte;
d - încăperi industriale în care utilajele necesită o permanentă supraveghere sau manevre specifice;
e - încăperi importante pentru activitatea de conducere a statului.

În general, aceste sisteme necesită condiții speciale de alimentare cu energie electrică.

Capacitatea bateriilor de alimentare, pentru cazurile (a), (c) și (d) se stabilește astfel încât să se asigure funcționarea iluminatului de siguranță pentru continuarea lucrului în tot timpul necesar luării unor măsuri care să asigure continuarea activității pe o perioadă de timp de cel puțin 3 h.

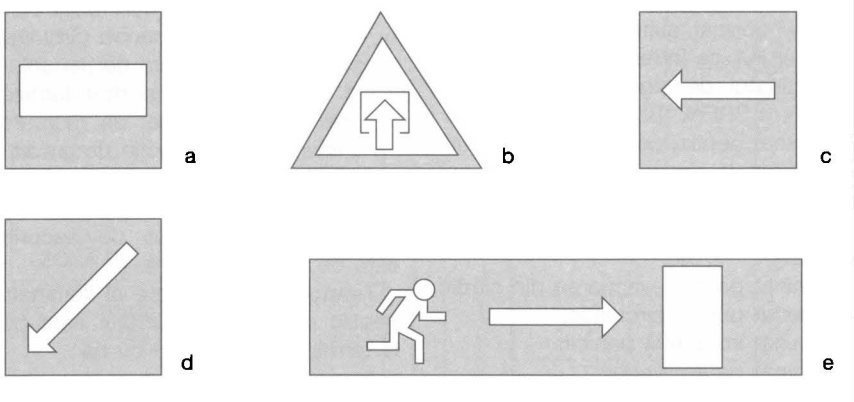


Fig. I.6.10 Indicatoare de evacuare, luminoase sau luminate:
a - ieșire de evacuare (fond verde, simbol alb); b - atenționare! cale de acces blocată (fond galben, simbol alb); c și d - sisteme direcționale pentru căile de evacuare (fond verde, simbol alb); e - reprezentare uzuală (alb pe fond verde).

6.2.2. Sisteme de iluminat de securitate pentru intervenții

Sistemele au rolul de a asigura intervenția personalului de exploatare, în încăperile sau spațiile în care există aparate sau utilaje ce trebuie comandate sau manevrate, la întreruperea funcționării iluminatului normal.

Sistemul de iluminat de securitate pentru intervenții se prevede în următoarele cazuri, în:
a - încăperi unde sunt montate armături (vane, robinete și dispozitive de comandă și control) ale unor instalații și utilaje care trebuie acționate în caz de incendiu;
b - încăperea centralei de avertizare și semnalizare a incendiilor și în încăperi de garare a utilajelor PSI;
c - încăperile industriale unde, la întreruperea funcționării iluminatului normal, trebuie acționate aparate sau utilaje în vederea scoaterii din funcțiune a unor utilaje și echipamente, sau în vederea reglării parametrilor aferenți, în scopul protejării utilajelor, echipamentelor sau persoanelor.

6.2.3. Sisteme de iluminat de securitate pentru evacuare și alte funcțiuni

Sistemele au rolul de a asigura, de exemplu, evacuarea persoanelor din clădire în cazul întreruperii iluminatului normal precum și alte funcțiuni conexe

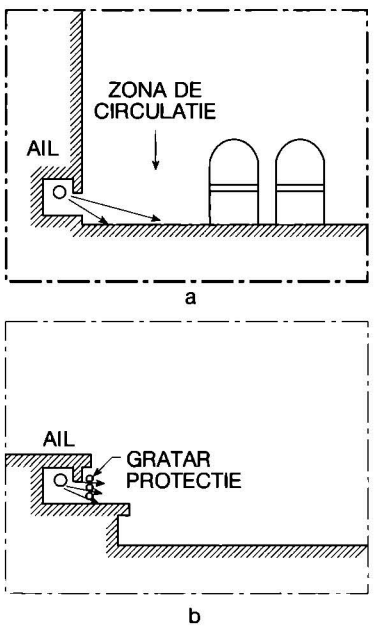


Fig. I.6.11. Amplasarea aparatelor de iluminat cu circulație:
a - în perete lateral în zona plintei; b - contratreaptă.

securității, în cazul apariției unor situații accidentale (incendii, panică etc.), sau unor funcțiuni suplimentare în condiții de noapte (veghe, pază etc.).

Sistemele de evacuare au rolul să marcheze clar traseele de circulație destinate evacuării în cazul întreruperii iluminatului normal sau în caz de necesitate.

SIL de evacuare trebuie să asigure cu claritate ghidajul vizual al traseului de evacuare, să pună în evidență eventualele obstacole, modificări de direcție etc.

Utilizarea unor sisteme de ghidaj luminate sau luminoase constituie un element vizual de mare importanță în asigurarea evacuării rapide și fluente a clădirii (fig. I.6.10).

De asemenea, realizarea unui contrast de luminanțe corespunzător reprezintă, ca și contrastul de culoare, un aspect de ghidare eficientă. Pentru SIL-evacuare, culoarea verde este cea indicată de normele românești, atunci când sistemul funcționează cu ghidaj în permanență (de ex.: la sălile de spectacole). Dacă SIL de evacuare face parte și din iluminatul normal, se utilizează aceleași AIL, cu condiția marcării lor distincte pentru a da posibilitatea verificării în exploatare. Culoarea roșie este utilizată pentru semnalizarea unei interziceri (de ex.: cale care se blochează), culoarea galbenă pentru avertizarea unui pericol (de ex.: semnalizarea obstacolelor), iar culoarea albastră pentru informare (de ex.: cameră tablou electric).

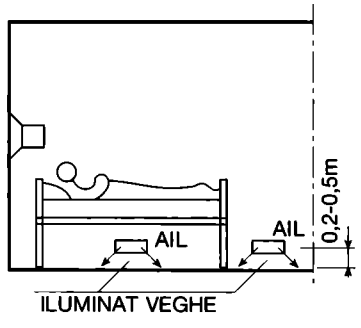


Fig. I.6.12 Amplasarea aparatelor de iluminat de veghe.

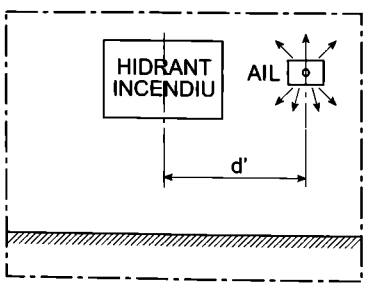


Fig. I.6.13. Amplasarea aparatelor de iluminat pentru marcarea luminoasă a hidranților de incendiu (d' < 2 m).

Formele geometrice utilizate pentru semnalizări sunt: triunghiul echilateral, pentru avertizare; pătratul sau dreptunghiul, pentru informare; cercul tăiat de un diametru, pentru interzicere.

Aparatele de iluminat pentru evacuare trebuie amplasate astfel încât să se asigure un nivel de iluminare adecvat (conform NP - 061/02) lângă fiecare ușă de ieșire și în locurile unde este necesar să fie semnalizat un pericol potențial sau amplasamentul unui echipament de siguranță, după cum urmează:

a) la fiecare ușă de ieșire dintr-o sală cu aglomerări de persoane conform P 118;
b) lângă* scări, astfel încât fiecare treaptă să fie iluminată direct;
c) lângă* orice altă schimbare de nivel;
d) la fiecare ușă de ieșire destinată a fi folosită în caz de urgență;
e) la panourile de semnalizare de securitate;
f) la fiecare schimbare de direcție;
g) în exteriorul și lângă* fiecare ieșire* din clădire;
h) lângă* fiecare post de prim ajutor;
i) lângă* fiecare echipament de intervenție împotriva incendiului și fiecare punct de alarmă.

*) „lângă" este considerat ca fiind sub 2 m măsurați pe orizontală.

Instalațiile electrice pentru iluminatul de securitate pentru evacuare trebuie prevăzute în:

- clădirile civile cu mai mult de 50 de persoane;
- încăperile amplasate la nivelurile supraterane cu suprafața mai mare de 300 m^2, indiferent de numărul de persoane;
- încăperile amplasate la subsol cu suprafața mai mare de 100 m^2, indiferent de numărul de persoane;
- spațiile de producție cu mai mult de 20 persoane sau atunci când distanța dintre ușa de evacuare și punctul de lucru cel mai dep'rtat depășește 30 m.

• *Sistemul de iluminat pentru evitarea panicii* are rolul de a asigura ambianța luminoasă de nivel scăzut necesară evitării accidentelor grave ce se pot produce în sălile de spectacole mai mari de 400 locuri (teatre, cinematografe, săli de concert individuale sau înglobate în case de cultură și similare), în cazul întreruperii iluminatului normal sau în condițiile nefuncționării acestuia din motive tehnologice.

Acest SIL trebuie să intre în funcțiune automat cu o temporizare mai mică de 5 s de la întreruperea iluminatului normal, dar trebuie prevăzută și comanda manuală de punere în funcțiune (fără posibilitate de întrerupere), din locuri accesibile personalului de întreținere și publicului; tipul de alimentare va fi același cu cel al iluminatului de evacuare a clădirii.

În general, se utilizează, în fiecare încăpere protejată și în încăperile de evacuare, cel puțin două surse cu amorsare practic instantanee, montate cu o protecție vizuală din sticlă clară (nu se modifică culoarea luminii emisă de sursă), iar alimentarea surselor pe fiecare traseu de evacuare se realizează cu două circuite separate (un circuit poate asigura circulația pe un traseu la un nivel de iluminare redus cu 50 % față de nivelul impus ales pentru situația de panică).

• *Sistemul de iluminat de circulație* (fig. I.6.11) are rolul de a asigura circulația în interiorul sălilor mari de spectacole, magazine etc., atât în cazul întreruperii tehnologice a iluminatului normal cât și a întreruperii sale accidentale. Acesta are același regim de funcționare ca și în iluminatul de evacuare pentru marcarea ieșirilor din sălile respective. AIL de circulație se montează în:

- plintă pe pereții laterali ai sălilor de spectacole;
- contratreptele din sală.

• *Sistemul de iluminat de veghe* (fig. I.6.12) are rolul de a asigura circulația în încăperile destinate odihnei, din spitale, maternități, sanatorii, grădinițe, creșe, cămine pentru bătrâni ș.a., în lipsa iluminatului normal (deconectat voit sau accidental). Culoarea recomandată a sursei este albastru, montarea

Tabelul I.6.1. Utilizarea diferitelor surse în SIL de siguranță

Lampa/Tipul	1	2	3	4	Observații
LIC/LIH	+	+	+	+	-
Lămpi fluorescente cu aprindere rapidă	+	+	+	+	-
Lămpi fluorescente cu amorsare lentă	-	-	+	+	Numai dacă AIL sunt utilizate și în iluminatul normal
Lămpi cu descărcări în vapori metalici la înaltă presiune	-	-	+	+	AIL utilizate și în iluminatul normal (cu alimentare permanent din sursa de rezervă)

Tabelul I.6.2. Niveluri de iluminare (orientative), conform normelor românești actuale

Tipul iluminatului de siguranță	Domeniul de utilizare de iluminare medie	Nivelul normat
Evacuare	- în general	20 % din nivelul de iluminare normat
	- în cazuri speciale	
	• în creșe	50 lx
	• pe trasee de evacuare din creșe, săli de spectacol cu peste 400 locuri	1 lx egal cu nivelul de iluminare normat
Evitare panică	- în săli se spectacol cu peste 400 locuri	10 % din nivelul de iluminare normat, dar minimum 20 lx
Circulație	- pe traseele de circulație din sălile de spectacol	10 % din nivelul de iluminare normat, dar minimum 30 lx
Veghe	- în creșe, cămine pentru copii, grădinițe, spitale	2 lx
Continuarea lucrului	- în general, în cazurile prevăzute în normativul I.7; dar minimum 5 lx	20 % din nivelul de iluminare normat
	- în cazuri speciale	
	• în încăperile blocului operator	80 % din nivelul de iluminare normat
	• pentru câmpul de operație;	egal cu nivelul de iluminare normat
	• în cabinete radiografice de urgență	egal cu nivelul de iluminare normat.
Intervenție	- în cazurile prevăzute în normativul I.7	minim 50 lx

Tabelul I.6.3. Nivelul de iluminare pentru pază (securitate/orientare).

E [lx]	Caracteristicile zonei
1	Minimum în zone unde nu există iluminat adiacent
5	Valoare medie ce oferă facilități de orientare (corespunde cu nivelul străzilor secundare)
20	Recomandare pentru zone adiacente străzilor cu circulație; recunoașterea figurii umane este posibilă, corespunde nivelului străzilor principale

aparatelor de iluminat realizându-se la 0,2...0,5 m de la pardoseală, de regulă, îngropate în pereți.

Alimentarea cu energie electrică a acestui sistem se realizează în același regim ca și iluminatul de evacuare a clădirii respective.

• *Sistemul de iluminat pentru marcarea hidranților de incendiu* are rolul de a permite identificarea acestora în caz de necesitate când, de regulă, iluminatul normal este întrerupt (fig. I.6.13). Se prevede în clădirile în care iluminatul de evacuare nu este suficient pentru marcarea hidranților. În cazul în care pentru marcarea hidrantului se utilizează un aparat de iluminat folosit și pentru evacuare, între axele hidrantului și AIL respectiv, distanța nu trebuie să fie mai mare de 2 m.

• *Sistemul de iluminat de pază* are rolul asigurării securității unor incinte, căi de circulație sau în exteriorul unor obiective. Acest sistem trebuie să funcționeze o dată cu lăsarea întunericului sau permanent în încăperile fără lumină naturală.

Deoarece normativul (I-7) nu prevede măsuri speciale pentru sistem, el se implementează de la caz la caz, în funcție de necesități, alimentarea cu energie electrică de rezervă fiind, de asemenea, aleasă în funcție de importanța obiectivului.

6.2.4. Aspecte caracteristice echipamentului sistemelor de iluminat de siguranță

În general, în conformitate cu normele românești, cu excepția clădirilor foarte importante se pot utiliza toate sursele de lumină uzuale (cu incandescență sau cu descărcări), în condițiile indicate în tabelul I.6.1. Se observă că numai lămpile cu incandescență și cele fluorescente cu amorsare rapidă au utilizare generală.

În cazul în care se utilizează lămpi fluorescente tubulare, pentru siguranța în funcționare, aparatele de iluminat vor fi echipate cu cel puțin două surse care pot funcționa și independent (nu este permisă utilizarea montajului de tip „tandem").

Dacă se utilizează aparate de iluminat echipate cu o singură lampă fluorescentă tubulară, atunci se vor cupla câte două montate la o distanță maximă de 6 m, în linie dreaptă.

Se pot utiliza și lămpi fluorescente compacte, de regulă, în același regim cu lămpile cu incandescență, dacă amorsarea este rapidă. În soluțiile alese se preferă lămpile fluorescente (tubulare sau compacte) cu amorsare rapidă.

Pentru blocurile de locuințe se admite montarea aparatelor unitub.

Din considerente economice, aparatele de iluminat de siguranță pot să facă parte și din iluminatul normal (ex.: sisteme de iluminat pentru evacuare pe coridoare, scări, holuri).

În cazul utilizării comune, iluminat normal și de siguranță, acestea vor fi marcate discret pentru asigurarea întreținerii.

În tabelul I.6.2 sunt date nivelurile de iluminare recomandate pentru diferite tipuri de iluminat de siguranță.

Pe plan internațional se recomandă:
- pentru evacuare/împotriva panicii - 1 % din nivelul normal, dar cel puțin 5 lx;
- pentru intervenție minimum 5 % din nivelul normal.

Pentru sistemele de iluminat de securitate (pază) nivelurile sunt indicate în tabelul I.6.3, valabile atât în interior cât și în exterior.

În cazul în care iluminatul de securitate este cuplat cu un sistem de camere de luat vederi, în funcție de tipul acestora, nivelul de iluminare variază între 3...20 lx pe planurile orizontale (de supraveghere) și între 1,5...10 lx pe cele verticale.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 7

Calculul sistemelor de iluminat interior

Pentru a realiza mediul luminos confortabil, funcțional și estetic, sistemul de iluminat trebuie dimensionat corespunzător, din punct de vedere cantitativ, și evaluat corect, din punct de vedere calitativ.

În cadrul acestui capitol se tratează sumar metodele de calcul cantitativ (fig. I.7.1) cu selectarea metodologiei de aplicare.

Metodele globale - au la bază fenomenul interreflexiei și au avantajul utilizării lor rapide, eficiente în proiectarea curentă prin faptul că oferă posibilitatea, fie a dimensionării sistemului în funcție de valoarea medie normată a iluminării (E_m), fie a evaluării iluminării medii pentru un sistem dat. Metoda factorului de utilizare permite determinarea iluminării medii (totale) E_m pe un anumit plan al încăperii (plan util, perete, plafon), iar prin metoda interreflexiei se poate determina distinct iluminarea medie directă E_{md} de iluminarea medie reflectată E_{mr} pe aceleași planuri. De fapt, fenomenul interreflexiei stă la baza tuturor metodelor globale (MFU, MCIE ș.a.) care reprezintă o aplicare practică a acesteia.

Metodele punctuale - prezintă avantajul că permit calculul unor valori precise în orice punct al încăperii, respectiv al planului util, pentru componenta directă, E_d. Iluminarea punctuală totală se va determina din suma iluminării directe în acel punct cu iluminarea medie reflectată a suprafeței ce conține punctul. Se utilizează astfel o metodă mixtă (punctuală combinată cu una globală).

Avantajul metodei constă în determinarea cu precizie mare a iluminărilor directe punctuale cât și a celei medii. Totodată permite aprecierea uniformității iluminării pe planul util, pe planurile efective de lucru (birouri, bănci, planșete, bancurile de lucru etc.).

Pentru calculul manual/automat curent, metodele globale sunt utilizate pentru predimensionarea sau chiar dimensionarea (la încăperi uzuale), iar cele punctuale sau mixte sunt destinate verificării iluminării efective și uniformității acesteia dată de sistemul de iluminat analizat.

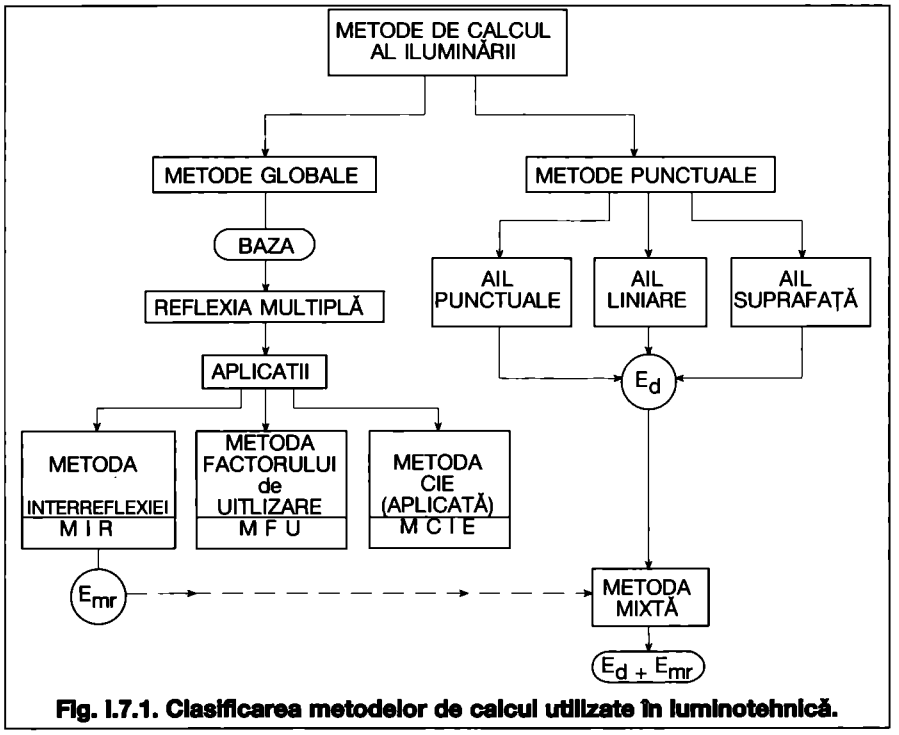


Fig. I.7.1. Clasificarea metodelor de calcul utilizate în luminotehnică.

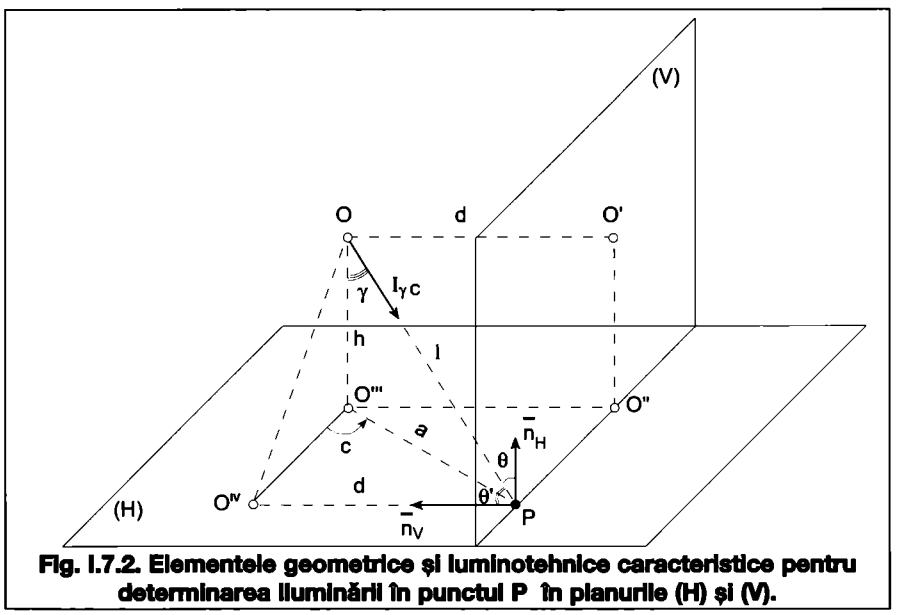


Fig. I.7.2. Elementele geometrice și luminotehnice caracteristice pentru determinarea iluminării în punctul P în planurile (H) și (V).

7.1. Metode de calcul punctuale

Metodele de calcul punctuale se utilizează în scopul determinării componentei directe a iluminării (iluminarea directă) în orice punct din plan. Ele sunt specifice fiecărui tip de sursă (punctuală/liniară/de suprafață).

Pentru deducerea relațiilor de calcul specifice se pleacă de la legea generală a iluminării, considerând fie contribuția sursei punctuale ca atare, fie a unui element de linie sau de suprafață (ce poate fi aproximat cu un punct) și integrând pentru întreaga sursă liniară sau de suprafață considerată.

7.1.1. Iluminarea directă, dată de surse de lumină punctuale

Se consideră o sursă punctuală (AIL este considerat punctual dacă dimensiunea sa maximă este mai mică de 1/5 l - AIL echipate cu lămpi incandescente sau cu descărcări în vapori metalici de înaltă presiune sau cu vapori de sodiu de joasă presiune sau lămpi fluorescente compacte) concentrată în punctul O din fig. I.7.2.

Pe baza legii generale a iluminării, rezultă iluminarea în punctul P din planul orizontal H, intensitatea luminoasă fiind $I_{\gamma,c}$,

$$E_{PH} = M_f \frac{I_{\gamma,c} \cdot \cos\theta}{l^2} \qquad (7.1.1)$$

în care:

M_f - este factorul de menținere pentru AIL;

θ - unghiul de incidență dintre direcția OP și normala în puctul P la planul orizontal (H);

l - distanța dintre punctele O și P.

Relația se exprimă, în mod uzual, în funcție de unghiul de înălțime γ și de înălțimea deasupra planului orizontal h astfel:

$$E_{PH} = M_f \frac{I_{\gamma,c} \cdot \cos^3\gamma}{h^2} \qquad (7.1.2)$$

atunci când axa AIL este perpendiculară pe planul punctului P ($\gamma=\theta$).

Similar, iluminarea verticală E_{PV} va fi, cu notațiile din fig. I.7.2:

$$E_{PV}=M_f \frac{I_{\gamma,c} \cdot \cos\theta'}{l^2} \quad (7.1.3)$$

în care:

θ' - este unghiul de incidență dintre direcția OP și normala în punctul P la planul vertical (V)

sau

$$E_{PV} = \frac{d}{h} \cdot E_{PH} \quad (7.1.4)$$

Iluminarea directă într-un plan oarecare (D) înclinat cu unghiul γ față de planul (H), rezultă în mod similar (fig. I.7.3):

$$E_{PD}=M_f \frac{I_{\gamma,c} \cdot \cos\theta''}{l^2} \quad (7.1.5)$$

sau

$$E_{PD}=M_f \frac{I_{\gamma,c}\cos^3\gamma}{h^2}\left[\cos\delta \pm \frac{d}{h}\sin\delta\right] \quad (7.1.6)$$

în care:

semnul (-) corespunde unui unghi $\delta < \pi/2$, iar

semnul (+) unui unghi $\delta \geq \pi/2$.

Se observă că, dacă $\delta = 0$ (planul orizontal H), se obține relația 7.1.2, iar dacă $\delta = \pi/2$ (planul vertical V) se obține relația 7.1.4.

Pentru aparatele de iluminat simetrice, intensitatea luminoasă depinde numai de γ (γ = arctg a/h).

Intensitatea luminoasă $I_{\gamma,c}$ sau I_γ se determină din curba de distribuție a intensității luminoase în funcție de γ și c pentru lampa convențională de 1000 lm. De exemplu, pentru un aparat de iluminat simetric:

$$I_\gamma = \frac{I_{\gamma 1000} \cdot \Phi_e}{1000} \quad (7.1.7)$$

în care:

$I_{\gamma 1000}$ - este intensitatea luminoasă pentru lampa convențională de 1000 lm, iar

Φ_e - este fluxul luminos emis de cele m lămpi componente ale aparatului de iluminat care emite, fiecare, un flux nominal Φ_l:

$$\Phi_e = m \cdot \Phi_l \quad (7.1.8)$$

Pentru cazurile uzuale, când sistemul de iluminat este realizat cu p aparate de iluminat, este necesară determinarea contribuției lor într-un punct sau în n puncte.

7.1.2. Iluminarea directă, dată de surse de lumină liniare

Pentru determinarea iluminării directe într-un punct din planul orizontal sau vertical realizată de un șir luminos format din unul sau mai multe aparate de iluminat liniare, se consideră contribuția dată de o porțiune elementară a șirului, însumând apoi toate contribuțiile infinit mici.

Pentru corecta evaluare a contribuției porțiunii elementare se ține seama de variația transversală și longitudinală a intensității luminoase. Astfel, se consideră, de regulă, variația transversală citită din curba de distribuție a intensităților luminoase a AIL considerat, iar cea longitudinală, după o lege cosinusoidală specifică, exprimată analitic.

În scopul simplificării calculului, studiile experimentale au arătat că tipurile de aparate de iluminat se pot încadra în 3 clase, în funcție de distribuția intensității luminoase:

Clasa *A*

$$d \cdot I_{\varepsilon_x} = dI_\gamma \cdot \cos\varepsilon_x \text{ - (legea lui Lambert)} \quad (7.1.9)$$

Clasa *B*

$$d \cdot I_{\varepsilon_x} = \frac{dI_\gamma \cdot \left(\cos\varepsilon_x + \cos^2\varepsilon_x\right)}{2} \quad (7.1.10)$$

Clasa *C*

$$d \cdot I_{\varepsilon_x} = \frac{dI_\gamma \cdot \left(2\cos\varepsilon_x + \cos^2\varepsilon_x + \cos^3\varepsilon_x\right)}{4} \quad (7.1.11)$$

în care:

dI_γ - este intensitatea luminoasă elementară normală în planul γ.

Relația 7.1.9 conduce la rezultate corecte pentru AIL apropiate de suprafețele emițătoare perfect difuzante (lămpi fluorescente libere, aparate de iluminat protejate cu ecrane opale).

Relația 7.1.10 dă rezultate corecte pentru aparate de iluminat cu distribuții directe, echipate cu reflector emailat.

Relația 7.1.11 corespunde aparatelor de iluminat echipate cu grătare difuzante.

Pentru fiecare din cele 3 clase relația de calcul al iluminării directe va fi diferită (în plan paralel și perpendicular pe axul șirului).

Iluminarea directă într-un punct, dată de o sursă de lumină perfect difuzantă (clasa A)

Se consideră șirul din fig. I.7.4 format din n aparate de iluminat de lungime l_L, lungimea șirului fiind $L = n \cdot l_L$

Pentru simplificarea relației de calcul se consideră un punct P din planul orizontal H situat la intersecția cu un plan perpendicular pe axul șirului și aflat la extremitatea sa. Pentru alte cazuri, iluminarea directă se va putea deduce cu ușurință prin adunarea și scăderea efectelor unor șiruri virtuale.

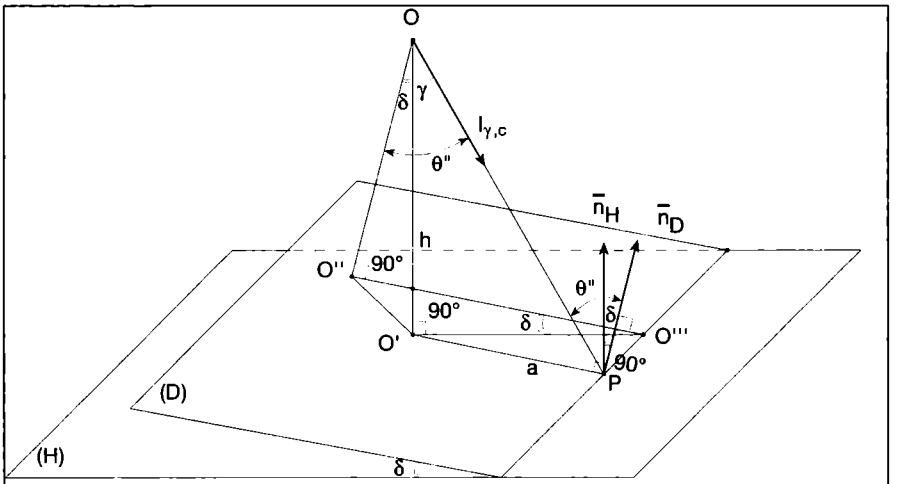


Fig. I.7.3. Iluminarea directă într-un plan oarecare.

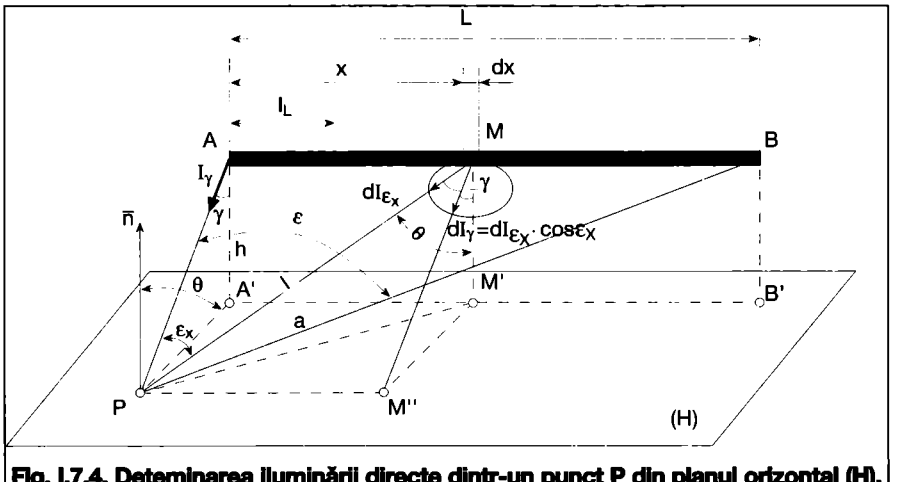


Fig. I.7.4. Determinarea iluminării directe dintr-un punct P din planul orizontal (H).

$$E_{PH} = M_f \frac{I_\gamma \cdot h}{a^2 + h^2} \cdot \frac{2\varepsilon + \sin^2 \varepsilon}{4 I_L} \quad (7.1.12)$$

în care:

I_γ - este intensitatea luminoasă a AIL, (rel. 7.1.7), [cd];

I_L, a și h - au semnificațiile din fig. I.7.4, [m];

ε - unghiul sub care se vede din P șirul luminos [rad];

$$\varepsilon = arctan \frac{L}{\sqrt{a^2 + h^2}}$$

Analog, relația pentru iluminarea directă E_{PV} într-un punct din planul vertical (V) (fig. I.7.5) este:

$$E_{PV} = M_f \frac{I_\gamma}{\sqrt{a^2 + h^2}} \cdot \frac{\sin^2 \varepsilon}{2 I_L} \quad (7.1.13)$$

Iluminarea directă într-un punct, dată de o sursă liniară cu distribuția intensității luminoase corespunzătoare clasei B

Considerând aceleași ipoteze de calcul, dar o variație a intensității luminoase dată de relația 7.1.10, rezultă iluminarea directă în plan orizontal:

$$E_{PH} = M_f \frac{I_\gamma \cdot h}{a^2 + h^2} \cdot \frac{\Psi(\varepsilon)}{2 I_L} \quad (7.1.14)$$

Analog, iluminarea directă în plan vertical va fi:

$$E_{PV} = M_f \frac{I_\gamma}{\sqrt{a^2 + h^2}} \cdot \frac{\Psi'(\varepsilon)}{2 I_L} \quad (7.1.15)$$

în care:

$$\Psi(\varepsilon) = \frac{\sin^2 \varepsilon}{4} + \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\sin\varepsilon \cdot \cos^2 \varepsilon}{3} + \frac{2\sin\varepsilon}{3} \quad (7.1.15')$$

$$\Psi'(\varepsilon) = \frac{\sin^2 \varepsilon}{2} + \frac{\sin^2 \varepsilon \cdot \cos\varepsilon - \cos\varepsilon + 1}{3}.$$

Iluminarea directă într-un punct, dată de o sursă liniară cu distribuția intensității luminoase corespunzătoare clasei C

Considerând aceleași ipoteze de calcul, dar o variație a intensităților luminoase dată de relația 7.1.11, rezultă iluminarea directă în planul orizontal:

$$E_{PH} = M_f \frac{I_\gamma \cdot h}{a^2 + h^2} \cdot \frac{\chi(\varepsilon)}{4 I_L} \quad (7.1.16)$$

Analog, rezultă iluminarea directă în plan vertical:

$$E_{PV} = M_f \frac{I_\gamma}{\sqrt{a^2 + h^2}} \cdot \frac{\chi'(\varepsilon)}{4 I_L} \quad (7.1.17)$$

unde:

$$\chi(\varepsilon) = \left(1\frac{1}{8}\right)\varepsilon + \left(1\frac{1}{16}\right)\sin^2 \varepsilon + \sin\varepsilon \cdot \frac{1}{4}\cos^2 \varepsilon \cdot \frac{1}{3}\cos^3 \varepsilon + \frac{2}{3} \quad (7.17')$$

$$\chi'(\varepsilon) = \sin^2\varepsilon \cdot \frac{\frac{5}{4} + \cos\varepsilon}{3} + \frac{\cos^3\varepsilon}{4} + \frac{1 - \cos\varepsilon}{3} \quad (7.17'')$$

Dacă punctul P nu se află în planul de capăt al șirului AB, fig. I.7.6, iluminarea se calculează cu relația:

$$E_P = E_{PMA} + E_{PMB} \quad (7.1.18)$$

unde:

E_{PMA} și E_{PMB} - sunt iluminările șirurilor fictive MA și MB ale căror efecte cumulate dau efectul șirului AB sau

$$E_P = E_{PNB} - E_{PNA} \quad (7.1.19)$$

unde:

E_{PNB} și E_{PNA} - sunt iluminările șirurilor fictive NB și NA, ale căror efecte scăzute dau efectul șirului AB (fig. I.7.6 b).

Dacă șirul luminos este discontinuu - între aparatele de lungime l_L, există o distanță $\lambda < l_L$ (fig. I.7.7) - acesta poate fi considerat continuu, dar cu intensitatea luminoasă redusă ($I_{\gamma\lambda}$) (față de un șir continuu I_γ) astfel:

$$I_{\gamma\lambda} = I_\gamma \cdot \frac{L}{L_\lambda} \quad (7.1.20)$$

unde:

$L = n \cdot l_L$ și $L_\lambda = n \cdot l_L + (n-1) \cdot \lambda$ sau:

$$I_{\gamma\lambda} = I_\gamma \cdot \frac{I_L}{I_L + \frac{\lambda(n-1)}{n}} \quad (7.1.21)$$

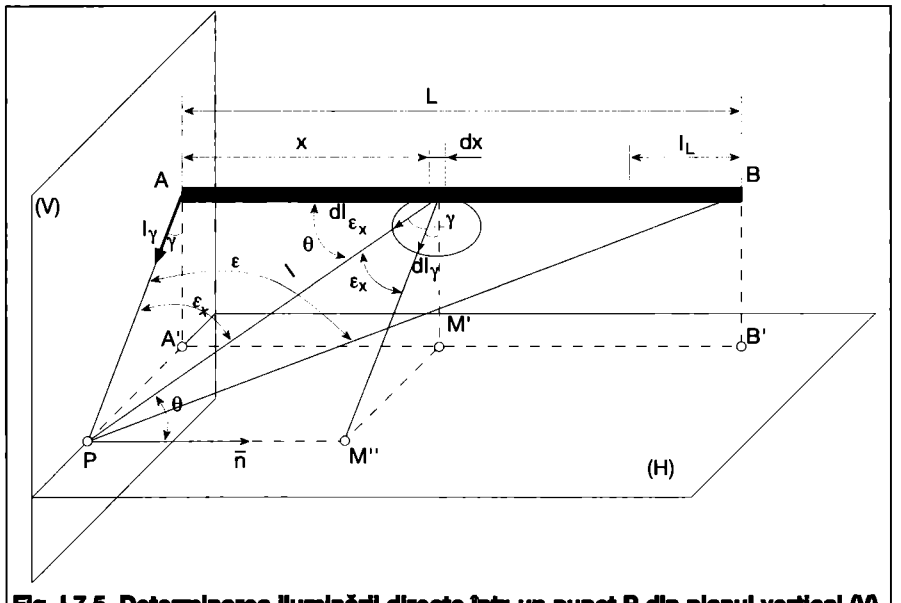


Fig. I.7.5. Determinarea iluminării directe într-un punct P din planul vertical (V).

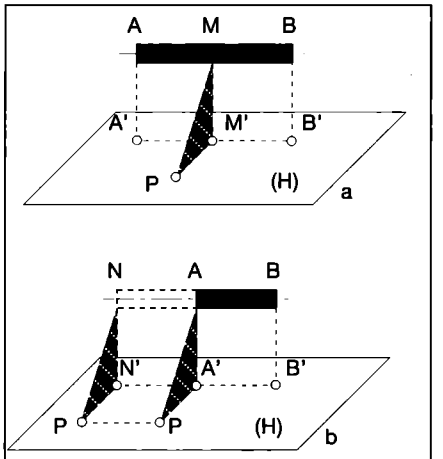


Fig. I.7.6. Cazuri particulare ale poziției punctului P față de șir.

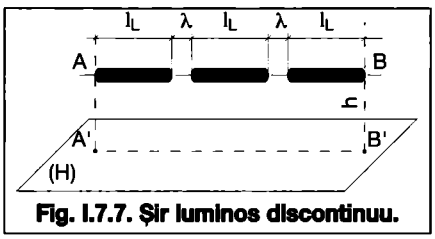


Fig. I.7.7. Șir luminos discontinuu.

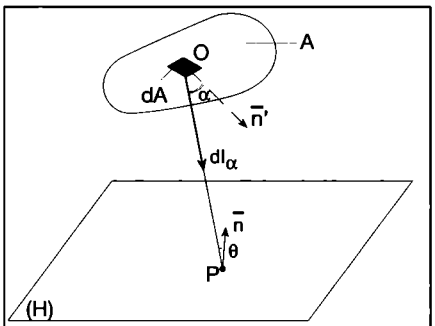


Fig. I.7.8. Iluminarea directă în punctul P determinată de o suprafață luminoasă/luminată oarecare.

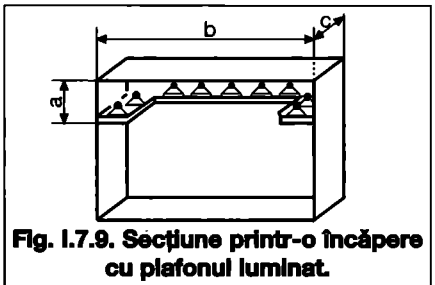


Fig. I.7.9. Secțiune printr-o încăpere cu plafonul luminat.

7.1.3. Iluminarea directă într-un punct, dată de surse luminoase (luminate) de suprafață perfect difuzante

Se consideră o suprafață luminoasă (luminată) oarecare (fig. I.7.8), perfect difuzantă, de luminanță L (L = const.) și emitanță M (M = const.).

Iluminarea în punctul P din planul H este dată de relația:

$$E_{PH} = M_f \cdot M \cdot e \qquad (7.1.21)$$

în care s-a notat coeficientul de iluminare:

$$e = \frac{1}{\pi}\int\left(\frac{\cos\alpha \cdot \cos\theta}{l^2}\right)dA \qquad (7.1.22)$$

Calculul iluminării directe pentru surse de suprafață implică două aspecte: unul geometric (calculul coeficientului de iluminare) și unul luminotehnic (calculul emitanței).

Pentru plafoane luminoase emitanța se determină cu relațiile de la calculul interreflexiei în cavitatea unui plafon luminos realizat din grătar difuzant, iar pentru plafoanele luminate ea se poate determina, de la caz la caz, fie pe baza evaluării iluminării plafonului, fie considerând scafa față de plafon o sursă și determinând iluminarea medie directă.

Astfel, dacă se consideră plafonul din fig. I.7.9 se poate determina iluminarea medie a plafonului E_P și, prin metoda factorului de utilizare, cu relația 7.2.14, indicele cavității plafonului fiind $i = (b \cdot c)/a \cdot (b+c)$.

Dacă se notează cu ρ_p reflectanța medie a plafonului, rezultă emitanța sa:

$$M = \rho_p \cdot E_P \qquad (7.1.23)$$

Calculul coeficientului de iluminare pentru panouri mari (plafoane)

Pentru panourile de formă dreptunghiulară coeficientul de iluminare, calculat cu relația (7.1.22), se determină într-un punct aflat pe verticala la panou într-unul din colțurile acestuia:

- în fig. I.7.10 punctul P se află într-un plan paralel cu panoul și
- în fig. I.7.11, punctul P se află într-un plan perpendicular față de panou.

Rezultă, pentru P aflat într-un plan orizontal, paralel cu panoul (fig. I.7.10):

$$e_{PH} = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{a}{\sqrt{a^2+h^2}} \cdot \operatorname{arctan}\frac{b}{\sqrt{a^2+h^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2+h^2}} \cdot \operatorname{arctan}\frac{a}{\sqrt{b^2+h^2}}\right) \qquad (7.1.24)$$

și pentru P aflat într-un plan vertical față de panou (fig. I.7.11):

$$e_{PV} = \frac{1}{2\pi}\left(\operatorname{arctan}\frac{b}{h} - \frac{h}{\sqrt{a^2+h^2}} \cdot \operatorname{arctan}\frac{h}{\sqrt{a^2+h^2}}\right) \qquad (7.1.25)$$

unde:

a și b - sunt dimensiunile panoului iar h - distanța de la punctul P la panou.

Dacă poziția punctului P diferă de cea a perpendicularei coborâte din colțul panoului, iluminarea directă se determină printr-un procedeu analog șirurilor luminoase, adică prin compunerea de panouri reale și virtuale care îndeplinesc condițiile de aplicare a relațiilor de calcul.

Dacă perpendiculara ridicată din P intersectează în P' suprafața panoului în interiorul conturului său (fig. I.7.12 a) atunci:

$$E_P = E_1+E_2+E_3+E_4 = M_f \cdot M \cdot (e_1+e_2+e_3+e_4) \qquad (7.1.26)$$

unde:

e_1, e_2, e_3, e_4 - sunt coeficienții de iluminare corespunzători panourilor 1,2,3 și respectiv 4 în punctul P.

Dacă perpendiculara ridicată din P intersectează în P", suprafața panoului în afara conturului său (fig. I.7.12 b) atunci:

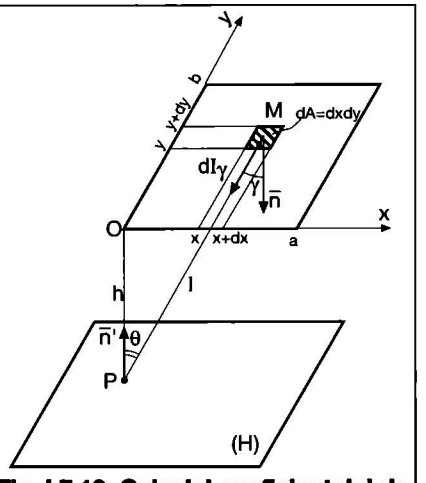


Fig. I.7.10. Calculul coeficientului de iluminare pentru panouri paralele cu planul util (orizontale).

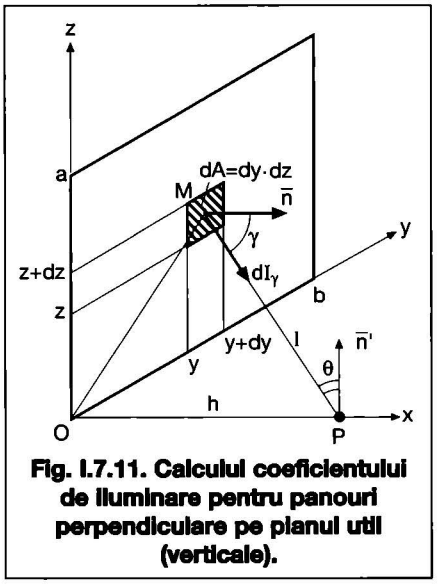


Fig. I.7.11. Calculul coeficientului de iluminare pentru panouri perpendiculare pe planul util (verticale).

$$E_P = E_{1234} - E_{13} - E_{34} + E_3 = M_f \cdot M \cdot (e_{1234} - e_{13} - e_{34} + e_3) \qquad (7.1.27)$$

unde:

e_{1234} - este coeficientul de iluminare al panoului format din panourile 1,2,3 și 4 împreună, în punctul P etc.

Pentru panourile cirulare, coeficientul de iluminare pentru un punct P aflat într-un plan paralel cu acesta (fig. I.7.13) este dat de relația:

$$e_{PH} = \frac{1-\cos\gamma}{2} \qquad (7.1.27')$$

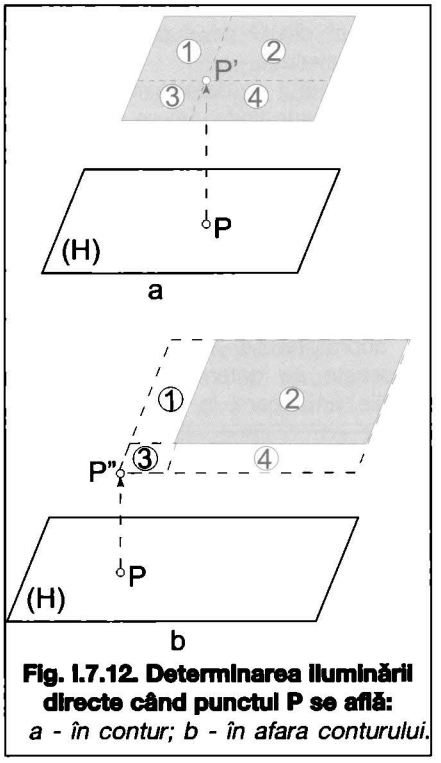


Fig. I.7.12. Determinarea iluminării directe când punctul P se află:
a - în contur; b - în afara conturului.

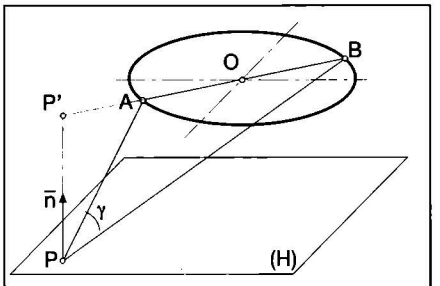


Fig. I.7.13. Panou circular.

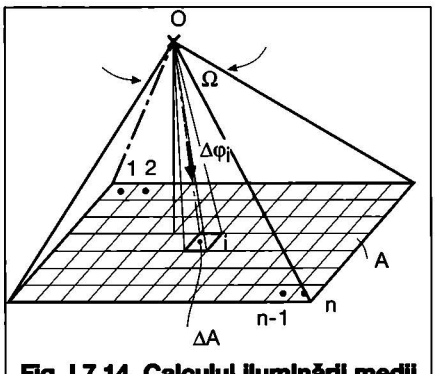


Fig. I.7.14. Calculul iluminării medii directe pe o suprafață.

indiferent de poziția punctului *P* în plan.

7.1.4. Calculul iluminării medii directe pe o suprafață (metoda „punct cu punct")

Fie suprafața A (fig. I.7.14) ce primește flux direct de la un aparat de iluminat plasat în punctul O. Fluxul direct trimis pe suprafața A este fluxul emis de aparat în unghiul solid Ω. Întrucât intensitatea luminoasă nu este uniform distribuită în Ω și nici O nu are o poziție simetrică față de suprafața A, fluxul direct din O pe suprafața A este greu de evaluat.

Acesta (Φ_d) se determină prin componentele sale finite $\Delta\varphi_i$ ce cad pe suprafețele elementare ΔA. Pentru ușurință se aleg suprafețe egale: $\Delta A = A/n$ unde *n* este numărul total de suprafețe elementare. Rezultă:

$$\Delta\varphi_i = E_i \cdot \Delta A \qquad (7.1.28)$$

unde:

E_i - este iluminarea directă în centrul suprafeței ΔA.

Aceasta se determină cu una din relațiile anterioare în funcție de tipul aparatului de iluminat.

Relația 7.1.28 este cu atât mai precisă cu cât suprafața ΔA este mai mică, deci cu cât numărul *n* este mai mare. Fluxul direct pe toată suprafața *A* este:

$$\Phi_d = \sum_{i=1}^{n} \Delta\varphi_i = \sum_{i=1}^{n} E_i \Delta A = \frac{A}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} E_i \qquad (7.1.29)$$

Rezultă iluminarea medie directă pe suprafața A:

$$E_{md} = \frac{\Phi_d}{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} E_i \qquad (7.1.30)$$

ca media aritmetică a iluminărilor directe E_i determinate într-un număr *n* de puncte, uniform distribuite.

Relația 7.1.30 este cu atât mai precisă cu cât n este mai mare. Se apreciază că pentru valori *n* = 250...1000 rezultatele sunt suficient de precise. Tehnica de calcul utilizată în prezent permite efectuarea unui astfel de calcul cu ușurință.

Relația 7.1.29 permite determinarea fluxului direct pe o suprafață atunci când se cunoaște iluminarea directă medie pe suprafață, respectiv, iluminările directe punctuale într-un număr suficient de mare de puncte de pe acea suprafață.

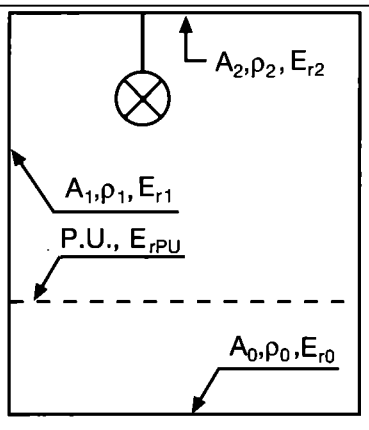


Fig. I.7.15. Notațiile pentru calculul interreflexiei dintr-o încăpere paralelipipedică.

7. 2. Metode de calcul globale

7. 2.1. Metoda interreflexiei

Inrerreflexia reprezintă fenomenul ce are loc într-o cavitate (încăpere) cu suprafețe reflectante, unde fluxul luminos receptat de la sursele de lumină, după prima reflexie, este din nou reflectat, dar mai mic, iar procesul continuă până la amortizarea sa.

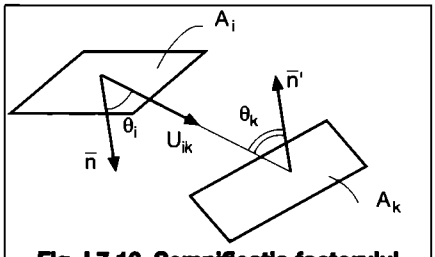


Fig. I.7.16. Semnificația factorului de utilizare u_{ik}.

Deoarece reflectanțele sunt subunitare, după primele reflexii, fluxul pe suprafață se stabilizează. Fenomenul se produce într-un timp scurt ce nu poate fi perceput direct datorită vitezei mari a luminii. Mecanismul interreflexiei poate fi urmărit în exemplele următoare.

Interreflexia într-o încăpere paralelipipedică în care pardoseala (0), pereții (1) și tavanul (2) sunt suprafețe reflectante distincte (fig. I.7.15).

Practic, prin această metodă se determină valoarea iluminării reflectate medii E_{r_0} pentru suprafața pardoselii (A_0), care se poate asimila cu valoarea iluminării reflectate medii E_{rPU} în planul util (PU), această aproximație fiind acceptabilă deoarece valoarea iluminării este mai mare în planul util (PU) decât pe suprafața pardoselii (A_0).

Se fac notațiile:

Φ_{d0}, Φ_{d1} și Φ_{d2}
- fluxurile directe pe cele 3 suprafețe, suma lor fiind fluxul total al aparatelor de iluminat ce formează sistemul (calculul lor este redat în capitolul 7.1.4).

u_{00}, u_{01}, u_{02};
u_{10}, u_{11}, u_{12} și
u_{20}, u_{21}, u_{22}
- factorii de utilizare corespunzători

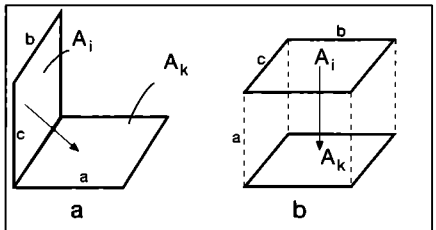


Fig. I.7.17. Pozițiile frecvente pentru A_i și A_k.

Tabelul I.7.1. Fluxuri reflectate

Fluxuri directe / Fluxuri din reflexie	Pe A_0 Φ_{d0}	Flux reflectat de A_0 $\rho_0 \cdot \Phi_{d0}$	Pe A_1 Φ_{d1}	Flux reflectat de A_1 $\rho_1 \cdot \Phi_{d1}$	Pe A_2 Φ_{d2}	Flux reflectat de A_2 $\rho_2 \cdot \Phi_{d2}$
După prima reflexie	$u_{00}\cdot\rho_0\cdot\Phi_{d0}$ $u_{10}\cdot\rho_1\cdot\Phi_{d1}$ $u_{20}\cdot\rho_2\cdot\Phi_{d2}$ } $\Phi_0^{(1)}$	$\rho_0\cdot\Phi_0^{(1)}$	$u_{01}\cdot\rho_0\cdot\Phi_{d0}$ $u_{11}\cdot\rho_1\cdot\Phi_{d1}$ $u_{21}\cdot\rho_2\cdot\Phi_{d2}$ } $\Phi_1^{(1)}$	$\rho_1\cdot\Phi_1^{(1)}$	$u_{02}\cdot\rho_0\cdot\Phi_{d0}$ $u_{12}\cdot\rho_1\cdot\Phi_{d1}$ $u_{22}\cdot\rho_2\cdot\Phi_{d2}$ } $\Phi_2^{(1)}$	$\rho_2\cdot\Phi_2^{(1)}$
După a doua reflexie	$u_{00}\cdot\rho_0\cdot\Phi_0^{(1)}$ $u_{10}\cdot\rho_1\cdot\Phi_1^{(1)}$ $u_{20}\cdot\rho_2\cdot\Phi_2^{(1)}$ } $\Phi_0^{(2)}$	$\rho_0\cdot\Phi_0^{(2)}$	$u_{01}\cdot\rho_0\cdot\Phi_0^{(1)}$ $u_{11}\cdot\rho_1\cdot\Phi_1^{(1)}$ $u_{21}\cdot\rho_2\cdot\Phi_2^{(1)}$ } $\Phi_1^{(2)}$	$\rho_1\cdot\Phi_1^{(2)}$	$u_{02}\cdot\rho_0\cdot\Phi_{d0}^{(1)}$ $u_{12}\cdot\rho_1\cdot\Phi_1^{(1)}$ $u_{22}\cdot\rho_2\cdot\Phi_2^{(1)}$ } $\Phi_2^{(2)}$	$\rho_2\cdot\Phi_2^{(2)}$
După a treia reflexie	$u_{00}\cdot\rho_0\cdot\Phi_0^{(2)}$ $u_{10}\cdot\rho_1\cdot\Phi_1^{(2)}$ $u_{20}\cdot\rho_2\cdot\Phi_2^{(2)}$ } $\Phi_0^{(3)}$	$\rho_0\cdot\Phi_0^{(3)}$	$u_{01}\cdot\rho_0\cdot\Phi_0^{(2)}$ $u_{11}\cdot\rho_1\cdot\Phi_1^{(2)}$ $u_{21}\cdot\rho_2\cdot\Phi_2^{(2)}$ } $\Phi_1^{(3)}$	$\rho_1\cdot\Phi_1^{(3)}$	$u_{02}\cdot\rho_0\cdot\Phi_0^{(2)}$ $u_{12}\cdot\rho_1\cdot\Phi_1^{(2)}$ $u_{22}\cdot\rho_2\cdot\Phi_2^{(2)}$ } $\Phi_2^{(3)}$	$\rho_2\cdot\Phi_2^{(3)}$
.....						
După o infinitate de reflexii	Φ_0		Φ_1		Φ_2	

suprafețelor încăperii (se mai numesc factori de formă).

Astfel u_{ik} este factorul de utilizare dintre suprafețele A_i și A_k (fig. I.7.16) și reprezintă raportul dintre: fluxul emis de A_i care ajunge direct la A_k (Φ_{ik}) și fluxul total emis de A_i (Φ_i):

$u_{ik}=\Phi_{ik}/\Phi_i$.

Dacă suprafețele A_i și A_k au pozițiile din fig. I.7.17, factorii de utilizare sunt dați de relațiile:

$$u_{ik}=\frac{1}{\pi}\left\{\begin{array}{l}\arctan\frac{b}{c}+\frac{a}{c}\arctan\frac{b}{a}\\ -\frac{\sqrt{a^2+c^2}}{c}\arctan\frac{b}{\sqrt{a^2+c^2}}\\ +\frac{a^2}{4bc}\ln\frac{a^2\left(a^2+b^2+c^2\right)}{\left(a^2+b^2\right)\left(a^2+c^2\right)}\\ +\frac{b}{4c}\ln\frac{\left(a^2+b^2\right)\left(c^2+b^2\right)}{b^2\left(a^2+b^2+c^2\right)}\\ +\frac{c}{4b}\ln\frac{c^2\left(a^2+b^2+c^2\right)}{\left(a^2+c^2\right)\left(b^2+c^2\right)}\end{array}\right\}$$

pentru fig. I.7.17 a. (7.2.1)

$$u_{ik}=\frac{a^2}{\pi bc}\ln\frac{\left(a^2+c^2\right)\left(a^2+b^2\right)}{a^2\left(a^2+b^2+c^2\right)}+$$

$$+\frac{2}{\pi}\left\{\begin{array}{l}\frac{\sqrt{a^2+c^2}}{c}\arctan\frac{b}{\sqrt{a^2+c^2}}\\ +\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{b}\arctan\frac{c}{\sqrt{a^2+b^2}}\\ -\frac{a}{c}\arctan\frac{b}{a}-\frac{a}{b}\arctan\frac{c}{a}\end{array}\right\}$$

pentru fig. I.7.17 b, (7.2.2)

unde:

ρ_0, ρ_1 și ρ_2 - sunt reflectanțele pardoselii, pereților și plafonului.

În cadrul interreflexiei, fluxurile directe sunt reflectate de suprafețele ce le primesc. Acestea se distribuie pe celelalte suprafețe în proporțiile corespunzătoare factorilor de utilizare. Astfel, fluxul direct pe pereți Φ_{d1} se reflectă rezultând $\rho_1\cdot\Phi_{d1}$.

Acest flux este distribuit astfel:

$u_{10}\cdot\rho_1\cdot\Phi_{d1}$ - pe pardoseală;

$u_{11}\cdot\rho_1\cdot\Phi_{d1}$ - pe pereți;

$u_{12}\cdot\rho_1\cdot\Phi_{d1}$ - pe tavan.

Fluxurile ajunse pe pardoseală, pereți și tavan după prima reflexie devin $\Phi_0^{(1)}$, $\Phi_1^{(1)}$ și $\Phi_2^{(1)}$. Acestea vor fi și ele reflectate de suprafețele respective și distribuite, din nou, în încăpere, fenomenul continuând la infinit. Acest mecanism este redat în tabelul I.7.1.

Fluxurile finale pe cele 3 suprafețe vor fi:

$$\Phi_0=\Phi_{d0}+\Phi_0^{(1)}+\Phi_0^{(2)}+\Phi_0^{(3)}+\ldots \quad (7.2.3)$$
$$\Phi_1=\Phi_{d1}+\Phi_1^{(1)}+\Phi_1^{(2)}+\Phi_1^{(1)}+\ldots$$
$$\Phi_2=\Phi_{d2}+\Phi_2^{(1)}+\Phi_2^{(2)}+\Phi_2^{(1)}+\ldots$$

Înlocuind fluxurile $\Phi_0^{(1)}$, $\Phi_1^{(1)}$, $\Phi_2^{(1)}$... cu componentele lor rezultă sistemul liniar:

$$\begin{array}{l}(1-u_{00}\cdot\rho_0)\Phi_0-u_{10}\cdot\rho_1\cdot\Phi_1-u_{20}\cdot\rho_2\cdot\Phi_2=\Phi_{d0}\\ -u_{01}\cdot\rho_0\cdot\Phi_0+(1-u_{11}\cdot\rho_1)\Phi_1-u_{21}\cdot\rho_2\cdot\Phi_2=\Phi_{d1}\\ -u_{02}\cdot\rho_0\cdot\Phi_0-u_{12}\cdot\rho_1\cdot\Phi_1+(1-u_{22}\cdot\rho_2)\Phi_2=\Phi_{d2}\end{array} \quad (7.2.4)$$

ale cărei soluții sunt fluxurile totale Φ_0, Φ_1 și Φ_2 pe cele 3 suprafețe ale încăperii.

Iluminările medii totale pe cele 3 suprafețe rezultă:

$$E_0=M_f\cdot\Phi_0/A_0$$
$$E_1=M_f\cdot\Phi_1/A_1$$
$$E_2=M_f\cdot\Phi_2/A_2 \quad (7.2.5)$$

Iluminările medii reflectate pe cele 3 suprafețe ale încăperii pot fi calculate cu relațiile:

$$E_{ro}=\frac{M_f}{A_0}\left(\Phi_0-\Phi_{do}\right)$$
$$E_{r1}=\frac{M_f}{A_1}\left(\Phi_1-\Phi_{d1}\right) \quad (7.2.6)$$
$$E_{r2}=\frac{M_f}{A_2}\left(\Phi_2-\Phi_{d2}\right)$$

unde:

M_f - este factorul de menținere al sistemului de iluminat.

Observație: Sistemul 7.2.3 se poate amplifica în funcție de ipotezele de calcul, cum ar fi:

Ipoteza 1: pereții încăperii pot fi individualizați în calculul interreflexiei și nu considerați ca o singură suprafață. În acest fel indicele 1 se înlocuiește cu 4 indici: p_1, p_2, p_3 și p_4 corespunzători celor 4 pereți.

Ipoteza 2: în care pereții, pardoseala și tavanul se împart, fiecare, într-un număr foarte mare de suprafețe elementare. Numărul acestora poate fi de ordinul sutelor sau chiar miilor, astfel că sistemul 7.2.3 va trebui rezolvat cu ajutorul unor programe specializate. Dacă suprafețele elementare sunt suficient de mici, iluminările medii ale acestora pot fi apreciate ca iluminări punctuale.

Programele moderne, utilizate de multe firme de prestigiu, sunt concepute după această ipoteză, cu observația că numărul de suprafețe elementare în care se împarte fiecare din suprafețele mari (pereți, tavan, pardoseală) ale încăperii este limitat la ordinul zecilor sau sutelor. Totodată, toate suprafețele elementare ale unui perete (tavan sau pardoseală) au aceeași caracteristică fotometrică – aceeași reflectanță.

Ipoteza 3: pereții și tavanul pot fi considerați o singură suprafață reflectantă (A_1) cu reflectanța ρ_1 (fig. I.7.18), iar pardoseala (A_2) este perfect absorbantă ($\rho_2=1$). Iluminarea medie reflectată a pardoselei rezultă:

$$E_{r2}=\frac{M_f\cdot\xi\cdot u_{12}\cdot\rho_1\cdot\Phi_A}{A_2\left(1-\rho_1\left(1-u_{12}\right)\right)} \quad (7.2.7)$$

unde:

M_f - are semnificația cunoscută;

Φ_A - fluxul total emis de aparatele de iluminat;

A_2 - suprafața planului util;

$A_1=A_p+A_t$ - suprafața totală a pereților (până la cota pardoselii) și a tavanului;

$\rho_1=\frac{\rho_p\cdot A_p+\rho_t\cdot A_t}{A_p+A_t}$ - reflectanța medie a pereților și plafonului, determinată ca o medie ponderată între reflectanțele acestor suprafețe;

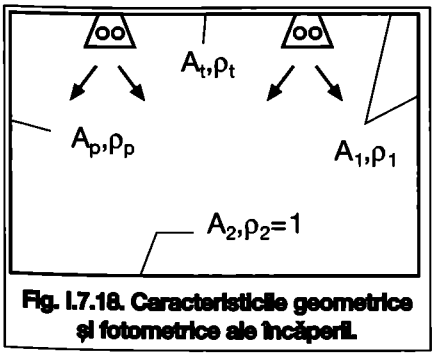


Fig. I.7.18. Caracteristicile geometrice și fotometrice ale încăperii.

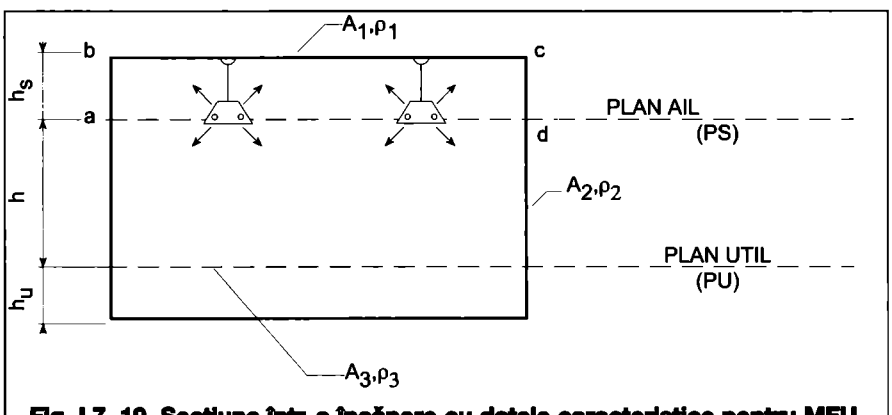


Fig. I.7. 19. Secțiune într-o încăpere cu datele caracteristice pentru MFU.

$\xi = 1-\Phi_{d2}/\Phi_A$ - proporția din fluxul aparatelor care cade direct pe plafon și pereți (Φ_{d2} - fluxul direct pe pardoseală calculabil cu relația 7.1.29);

u_{12} - este factorul de utilizare corespunzător suprafețelor A_1 (pereți și tavan) și A_2 (pardoseală) și reprezintă fluxul ajuns pe A_2 din fluxul total emis (prin reflexie) de A_1 (pereți și tavan);

u_{12} - trebuie determinat cu relațiile 7.2.1 și 7.2.2 în funcție de dimensiunile încăperii.

În foarte multe calcule practice se utilizează o relație empirică:

$$u_{12} = A_2/A_1 = A_2/(A_p + A_t) \quad (7.2.8)$$

considerată satisfăcătoare pentru ipoteza de calcul folosită.

Fluxul total al aparatelor de iluminat

$\Phi_A = N \cdot \eta_A \cdot n \cdot \Phi_l$

în care:

N - este numărul de aparate,

η_A - randamentul unui aparat,

n - numărul de lămpi ce se montează într-un aparat

Φ_l - fluxul nominal al unei lămpi.

7.2.2. Metoda factorului de utilizare

Metoda factorului de utilizare (MFU) a fost și este frecvent utilizată, datorită simplității, rapidității și eficienței sale în calculele curente de predimensionare sau chiar de dimensionare a sistemelor de iluminat.

MFU se aplică, în mod curent, pentru determinarea fluxului necesar realizării unui anumit nivel de iluminare în planul util/de lucru al încăperii.

De asemenea, pentru un sistem de iluminat dat, se poate determina iluminarea medie efectivă pe o singură suprafață a încăperii (plan util/de lucru) sau iluminările medii efective pe toate cele 3 planuri caracteristice ale încăperii (plan util (pardoseală), pereți, plafon).

În fig. I.7.19 se pot urmări mărimile geometrice și fotometrice necesare în aplicarea metodei:

- planul util - cel în care se desfășoară activitatea din încăpere (pe care se află sarcina vizuală). Acesta se află la distanța h_u de pardoseală. De exemplu: pentru clase, birouri, $h_u = 0{,}7$ m; pentru săli de sport $h_u = 0$ m etc.
- planul AIL - planul aflat la distanța h_s (distanța de suspendare) de plafon și care trece prin centrul surselor de lumină (aparatele de iluminat dintr-o încăpere sunt de același tip și se amplasează în același plan - paralel cu plafonul);
- indicii 1,2,3 se referă la plafon, pereți și plan util (pardoseală).

În calculele de dimensionare fluxul necesar este dat de relația (de dimensionare):

$$\Phi_{nec} = E_m \cdot A/U \cdot M_f \quad (7.2.9)$$

unde:

E_m - iluminarea medie admisă [lx];

A - suprafața planului util [m²];

U - factorul de utilizare (stabilit de către firma producătoatre de AIL);

M_f - factorul de menținere a SIL.

Factorul de utilizare este indicat de fabricantul de aparate de iluminat. El se alege în funcție de:

- tipul aparatului de iluminat;
- reflectanțele tavanului (ρ_1), pereților (ρ_2) și pardoselii (ρ_3);
- indicele încăperii (i) ce exprimă legătura dintre poziția sistemului de iluminat și geometria încăperii. Cea mai utilizată relație pentru acesta este:

$$i = l \cdot L/h(l + L) \quad (7.2.10)$$

unde:

l, L - sunt dimensiunile încăperii iar h distanța de la planul AIL la planul util (fig. I.7.19).

Cunoscând fluxul necesar pentru un sistem de iluminat se determină numărul de lămpi ale acestuia cu relația:

$$n = \Phi_{nec}/\Phi_l \quad (7.2.11)$$

în care:

Φ_l - este fluxul emis de o lampă.

Pentru ca rezultatele obținute prin MFU să fie corecte, trebuie îndeplinite următoarele condiții: sistemul de iluminat să fie de tip general, uniform distribuit și reflectanța pereților să se stabilească ca o medie ponderată a reflectanțelor (ρ_i) suprafețelor ce compun pereții (A_i):

$$\rho_p = \frac{\sum \rho_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (7.2.12)$$

Numărul de aparate de iluminat rezultă:

$$N = n/n_l \quad (7.2.13)$$

unde:

n_l - reprezintă numărul de lămpi dintr-un aparat de iluminat.

Practic, se fac câteva încercări pentru diverse puteri și număr de surse din aparat, până se ajunge la o soluție convenabilă care să corespundă și condițiilor privind amplasarea AIL.

Metodele de calcul globale au dezavantajul că nu oferă informații asupra distribuției iluminărilor pe suprafețele considerate foarte importante, în special, asupra uniformității în planul util, factor de calitate în desfășurarea activităților umane.

Metoda factorului de utilizare poate fi folosită și pentru verificarea unui SIL dat. Astfel, iluminarea medie a acestuia este:

$$E_m = \frac{M_f \cdot U \cdot \Phi_{ef}}{A} \quad (7.2.14)$$

unde mărimile din relație au semnificațiile cunoscute. Aprecierea iluminării medii va fi cu atât mai corectă cu cât M_f și Φ_{ef} se vor aprecia mai corect.

7.3. Calculul automat al sistemelor de iluminat interior

Verificarea cantitativă a sistemelor de iluminat interior se poate realiza în condiții mult mai bune utilizând calculul automat cu toate posibilitățile de analiză rapidă pe care le oferă acesta.

În mod uzual, suprafața planului util se împarte în n suprafețe dreptunghiulare cu laturile cât mai apropiate ca dimensiune ($a \approx b$), centrele de greutate ale acestor suprafețe mici, pe care se poate considera o distribuție uniformă a fluxului luminos, reprezentând punctele de calcul ale iluminării (directă și reflectată).

Pentru calculul iluminării directe medii cu o eroare sub 5 % numărul „n" de puncte de calcul al iluminării directe trebuie să fie între 250 și 1000. Realizarea unui calcul corect al iluminării directe impune determinarea acesteia într-un număr foarte mare de puncte, ceea ce conduce, practic, la obținerea unei valori cât mai apropiate de cea reală.

Amplasarea AIL este posibilă cu anumite restricții determinate de structura plafonului, prezența unor utilaje etc.

Verificarea cantitativă urmărește calculul:

- iluminării medii efective E_m ;
- factorului de uniformitate pe planul util E_{min}/E_m;
- factorului de uniformitate pe suprafețele de lucru din planul util E_{min}/E_{max} și trasarea curbelor sau zonelor izolux pe planul util.

Programe performante de calcul automat oferă posibilitatea de a determina:

- iluminările (luminanțele) de pe celelalte suprafețe din încăpere (pereți, plafon);
- factorii de uniformitate pe acestea.

Aceste informații suplimentare permit o mai bună evaluare a sistemului de iluminat din punct de vedere calitativ prin:

- stabilirea distribuției luminanțelor în câmpul vizual;
- culoarea luminii și redarea culorilor;
- modelarea obiectelor tridimensionale.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 8

Aprecierea calitativă a sistemelor de iluminat interior

Calitatea unui sistem de iluminat este apreciată prin aceea că nu produce ocupanților din încăpere:
- orbire fiziologică - prin privirea directă a surselor luminoase;
- orbire psihologică - prin inconfortul creat de alternanța de luminanțe în câmpul vizual central și periferic.

Aprecierea cantitativă a calității sistemelor de iluminat este, de regulă, o problemă dificilă și controversată. Se prezintă metodele cele mai utilizate din acest punct de vedere.

8.1. Metoda curbelor de luminanță limită

Comisia Internațională de Iluminat (CIE) a elaborat două familii de curbe ale modului de variație a luminanței limită (ce nu provoacă ochiului fenomenul de orbire fiziologică) în funcție de unghiul (γ) de emisie al luminanței de către aparatul de iluminat față de normala la acesta (fig. I.8.1).

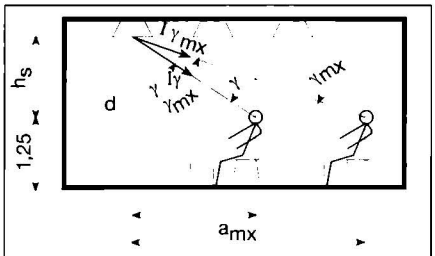


Fig. I.8.1. Semnificația unghiurilor γ
d = direcția de privire.

Această variație este dată pentru:
- 5 clase de calitate pentru sistemele de iluminat (de la A la E);
- 4 trepte de niveluri de iluminare: 2000, 1000, 500 și sub 300 lx.

Prima familie de curbe (fig. I.8.2 a) este folosită atunci când aparatele de iluminat ale sistemului analizat au emisia de flux numai în semispațiul inferior ($\Phi_s = 0$, emisia este directă). De asemenea, se aplică și atunci când aparatele de iluminat liniare sunt amplasate paralel cu direcția de privire (fig. I.8.1). Cea de-a doua familie de curbe (fig. I.8.2 b) este folosită atunci când aparatele de iluminat ale sistemului evaluat au emisie laterală a fluxului și atunci când aparatele sunt liniare și amplasate perpendicular pe direcția de privire.

Cele 5 clase de calitate ale sistemelor de iluminat sunt date în funcție de valoarea indicelui de orbire (G) în tabelul I.8.1.

De regulă, un sistem de iluminat se verifică pentru poziția observatorului cel mai dezavantajos plasat față de sistem. Poziția acestuia corespunde valorii maxime a unghiului γ (fig. I.8.1).

$$\gamma_{mx} = arctg\, a_{mx} / h_s \qquad (8.1.1)$$

unde:

a_{mx} - este distanța de la primul aparat de iluminat la peretele opus și

h_s - distanța de la planul aparatelor de iluminat la planul în care se află direcția de privire. Dacă activitatea din încăpere are loc în mod normal, pe scaun, direcția de privire se consideră la 1,25 m de la pardoseală. Dacă activitățile din încăpere obligă la poziția în picioare (activitate la strung, planșetă, banc de lucru etc.) aceasta se consideră la 1,6 m de pardoseală.

Câmpul vizual firesc desupra axei de privire corespunde unui unghi plan de 45°. De aceea variația unghiului γ din fig. I.8.2 este dată numai pentru valori ale acestuia mai mari de 45°. Limita superioară este de 85° ceea ce corespunde unei poziții a planului aparatelor de iluminat foarte aproape de direcția de privire, greu de realizat în practică.

Verificarea sistemului de iluminat constă în faptul că se determină:
- unghiul γ_{mx} pentru observatorul cel mai dezavantajos plasat, folosind relația 8.1.1;
- luminanța emisă de aparatul de iluminat pe direcția γ_{mx} față de verticală.

De regulă, fabricanții de aparate de iluminat indică distribuția luminanței în spațiu. Atunci când aceasta nu este dată, se determină prin calcul:

$$L_{\gamma_{mx}} = I_{\gamma_{mx}} / A \cos\gamma_{mx} \qquad (I.8.2)$$

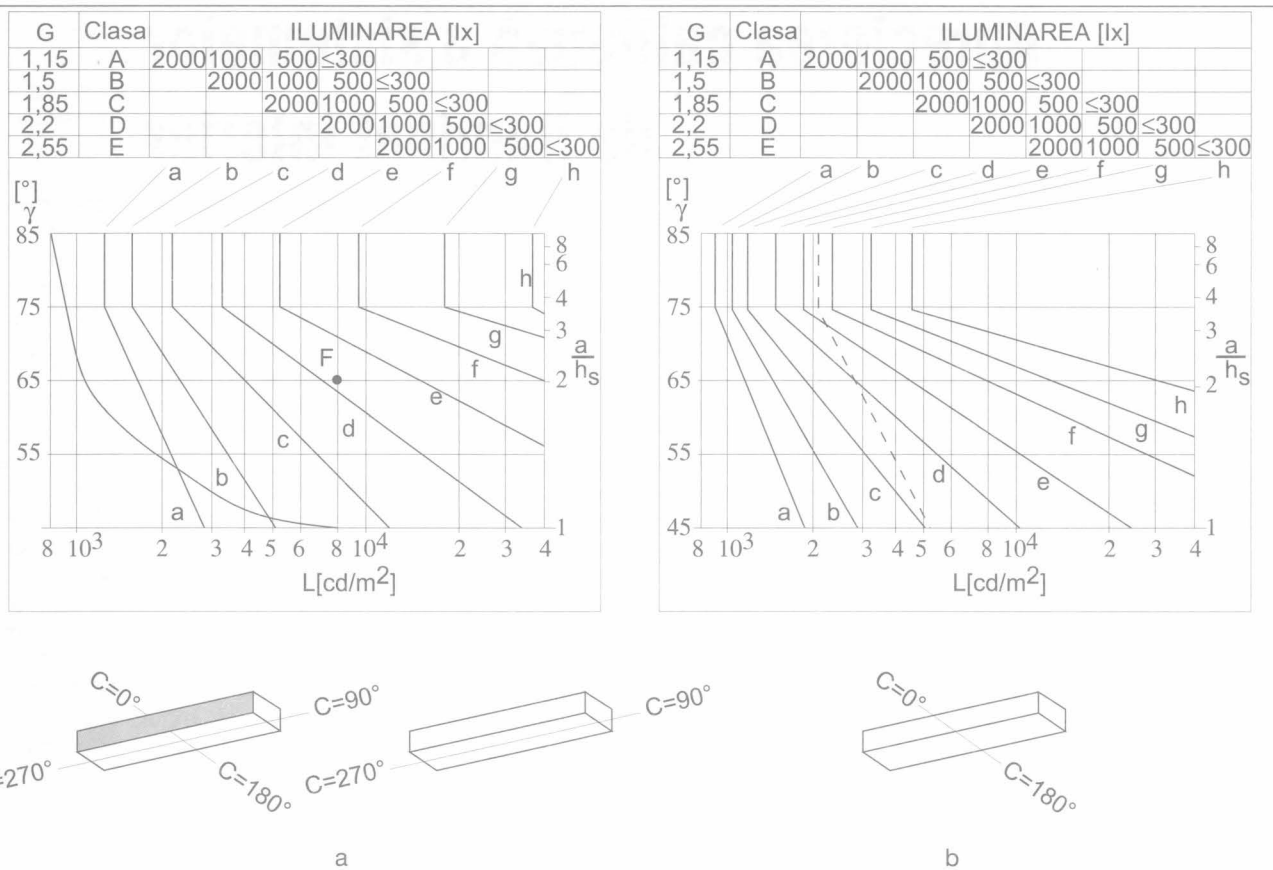


Fig. I.8.2. Curbele de luminanță limită pentru evitarea orbirii:
a - paralel față de direcția de privire; b - perpendicular pe direcția de privire/emisie laterală.

unde:

$I_{\gamma_{mx}}$ - este intensitatea luminoasă a aparatului de iluminat pe direcția γ_{mx} și A suprafața luminoasă a acestuia.

- se alege familia de curbe ce va fi utilizată în funcție de tipul aparatului de iluminat. Pe această familie de curbe se reprezintă punctul corespunzător valorilor (γ_{mx}, $L_{\gamma_{mx}}$) determinate anterior; de exemplu: pentru $\gamma_{mx}=65°$ și $L_{\gamma_{mx}}=8\cdot10^3$ cd/m² corespunde punctul F din fig. I.8.2 a.
- se stabilește clasa de calitate în care se încadrează sistemul de iluminat, una din liniile orizontale de la A la E (fig. I.8.2);
- pentru clasa de calitate și nivelul de iluminare medie al sistemului de iluminat analizat se identifică curba de luminanță limită - una din curbele de la *a* la *h* din fig. I.8.2; de exemplu: pentru familia de curbe de luminanță limită „a", din fig. I.8.2 clasa de calitate „C" și nivelul de iluminare de 500 lx, corespunde curba de luminanță limită „e".
- dacă punctul de funcționare al sistemului de iluminat analizat (F) corespunzător valorilor (γ_{mx}, $L_{\gamma_{mx}}$) se află în stânga curbei de luminanță limită corespunzătoare sistemului de iluminat, atunci acesta este considerat corespunzător din punctul de vedere al calității (orbirii directe).

Dacă punctul F se află chiar pe curba de luminanță limită, sistemul se află la limita acceptabilității.

Dacă punctul F se află la dreapta curbei de luminanță limită, sistemul este necorespunzător. Pentru a deveni corespunzător, se poate lua una (sau mai multe) din următoarele măsuri, în funcție de posibilități:

- se ridică planul aparatelor de iluminat: crește h_s, se micșorează γ_{mx} și punctul F își modifică poziția;
- se alege alt aparat de iluminat cu luminanțe mai mici.

Principalul fabricant de aparate de iluminat din România (ELBA) indică curbele de luminanță limită numai pentru 3 clase de calitate (I, II, și III) ce corespund claselor A, B, și D din clasificarea CIE.

Tabelul I.8.1. Clasa de calitate în funcție de indicii de orbire.

Indicele de orbire (G)	Clasa de calitate
1,15	A-foarte înaltă calitate
1,50	B-înaltă calitate
1,85	C-calitate medie
2,20	D-calitate scăzută
2,55	E-calitate foarte scăzută

8.2. Metoda UGR (CIE Unified Glare Rating System)

O nouă orientare în domeniul studiului orbirii este dată de Sistemul Unificat CIE de Evaluare a orbirii - *UGR*, care este destinat, evaluării orbirii în iluminatul interior.

Baza noului sistem o constituie un indice global *UGR*, dat de relația (analogă cu indicele global dat de metoda britanică - BZ):

$$UGR = 8 \cdot lg_{10} \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \qquad (8.2.1)$$

unde:

L_b - este luminanța fondului;

L - luminanța părților luminoase ale fiecărui aparat de iluminat în direcția ochiului observatorului;

ω - unghiul solid sub care se vede suprafața luminoasă a aparatului de iluminat (steradiani);

p - indice de poziție (denumit indice Guth) pentru fiecare aparat de iluminat individual care dă informații despre poziția sa față de linia vederii.

Metoda *UGR* are avantajul că poate fi inclusă în programe de calcul automat.

O valoare simplă, dar puțin precisă pentru calculul coeficientului *UGR*, poate fi obținută prin folosirea unor tabele standard *UGR*. Aceste tabele dau valorile *UGR* calculate pentru un număr de situații standard și pentru diferite tipuri de AIL, adică:

$$UGR_{efectiv} \leq UGR_{admis} \qquad (8.2.2)$$

Un dezavantaj al utilizării tabelelor este acela că o clasificare a AIL este dificil de realizat. Această dificultate a fost depășită, realizându-se o nomogramă cu curbele limită *UGR* (fig. I.8.3)

Ele constau doar în cinci linii pentru valori *UGR* constante. Se poate observa că domeniul pentru luminanță este mult mai mare decât cel utilizat de curbele limită de luminanță.

Domeniul indicilor de orbire este de la 16 la 28, acesta fiind cel mai mic interval care dă o schimbare semnificativă în senzația de inconfort prin orbire.

Echivalența față de clasele de calitate CIE este dată în tabelul I.8.2.

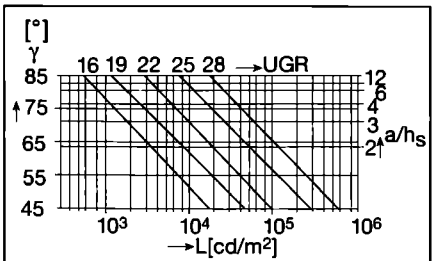


Fig.I.8.3. Curbele limită UGR.

Tabelul I. 8.2. Echivalența valorilor UGR cu clasele de calitate CIE

Clasa de calitate CIE	A	B	C	D	E
UGR	16...19	19...22	22...25	25...28	>28

8.3. Metoda Ro

Realizată în urma cercetărilor întreprinse de Catedra de Luminotehnică din Universitatea Tehnică de Construcții din București s-a ajuns la evaluarea indicelui de confort (C_L) determinat în controlul orbirii psihologice produse de contrastul de luminanță AIL/plafon, în funcție de raportul C_B dintre iluminările (luminanțele) plafon/plan util (fig. I.8.4).

S-a stabilit că pentru încăperile destinate activităților intelectuale (fără ecran de calculator), este necesar, pentru realizarea unui confort bun ca:

C_B = 0,3...0,4 respectiv,

$E_t = (0,3...0,4)E_u$.

Confortul maxim se obține la $E_t = E_u$.

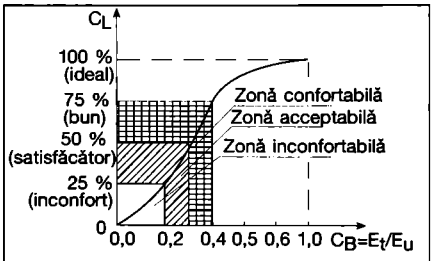


Fig. I.8.4. Curba de variație a confortului vizual în funcție de raportul iluminărilor:

E_t - iluminare plafon;

E_u - iluminare în plan util.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 9

Sisteme de iluminat exterior

Prin sistem de iluminat exterior se definește ansamblul realizat de aparatele de iluminat sau proiectoare (echipate cu surse de lumină corespunzătoare) amplasate într-o anumită dispunere logică, în general, de-a lungul perimetrului suprafeței de iluminat, în scopul realizării unui mediu luminos confortabil, funcțional (și estetic), corespunzător desfășurării activității umane cerute (muncă, divertisment, circulație rutieră sau pietonală ș.a.).

În fig. I.9.1 se prezintă o clasificare a sistemelor de iluminat exterior.

Spre deosebire de iluminatul interior, în general, în exterior sistemele sunt destinate activității normale, rareori utilizându-se și iluminatul de siguranță și/sau evacuare a zonei cu aglomerări de persoane. De asemenea, pentru zonele în care condițiile de securitate o impun, se prevede un iluminat de pază, eventual cu alimentare permanentă.

Sistemele de iluminat exterior pot fi clasificate și în funție de modul de amplasare (fig. I.9.2) astfel:

- distribuții concentrate, ce se utilizează pentru iluminatul suprafețelor foarte mari. Se utilizează baterii de AIL specializate (proiectare), care emit un fascicul luminos concentrat într-un unghi solid mic. Bateriile se montează pe piloni înalți (20...40 m), fiecare proiector având orientare diferită, în așa fel încât să se realizeze o distribuție uniformă a iluminării în planul util.
- distribuții uniform distribuite ce se utilizează pentru zone înguste (de exemplu, căi de circulație) unde AIL sunt montate câte unul sau mai multe, la înălțimi de 5...15 m pe perimetrul zonei.
- distribuții mixte utilizate pentru suprafețele mari la care este necesară un SIL general în anumite ore, iar în altele numai un iluminat localizat pe căile de circulație sau pe alte puncte de interes.

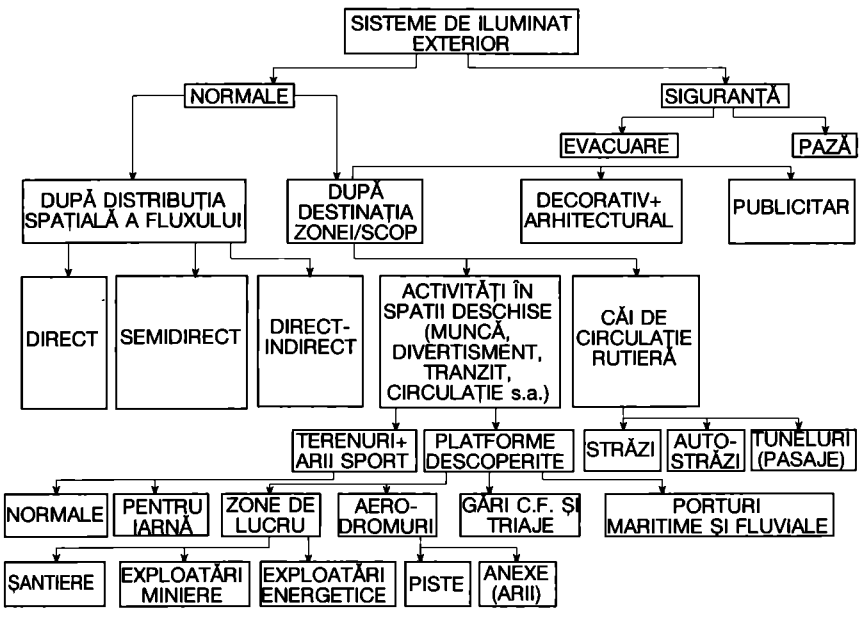


Fig. I.9.1. Clasificarea sistemelor de iluminat exterior.

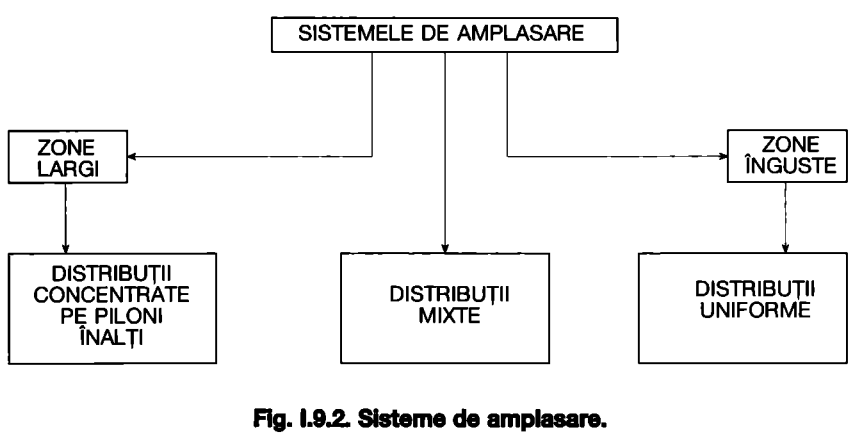


Fig. I.9.2. Sisteme de amplasare.

9.1. Sisteme de iluminat normal

SIL, în funcție de destinațiile ariilor luminate pot fi generale (uniform distribuite: drumuri, terenuri de sport ș.a.) și localizate (decorativ-arhitectural).

Sistemele de iluminat destinate desfășurării activităților în spații deschise servesc multiplele necesități de muncă, divertisment, tranzit ș.a. Amplasarea aparatelor de iluminat pentru aceste zone largi deschise este, în mod uzual, cea concentrată, excepție făcând soluțiile destinate unor zone mai înguste, unde și amplasarea uniform distribuită poate fi acceptată, eventual, în urma unui calcul tehnico-economic.

Sistemele de iluminat destinate terenurilor de sport prezintă o varietate de soluții în funcție de natura activității sportive (fotbal, rugbi, atletism, tenis ș.a.), precum și de funcția terenului (competiție cu sau fără public, antrenament și competiții sau numai antrenament).

În cazul în care sistemul de iluminat are mai multe funcții, acesta trebuie să fie flexibil, încât să se adapteze la toate cerințele. Aceasta se realizează fie prin prevederea mai multor sisteme independente utilizând aceeași amplasare, fie prin sectorizarea unui sistem unic. Este important de subliniat că variația nivelului de iluminare, prin sectorizare este dificil de realizat, în special, pe spațiile mari, dată fiind orientarea diferită a fiecărei surse de lumină.

Pentru zona publicului este necesar un sistem de iluminat local, de circulație, suficient cantitativ și uniform distribuit pentru a putea asigura circulația în condiții bune.

Sistemele de iluminat destinate platformelor deschise în care se desfășoară diferite activități sunt, în general, de tip concentrat, date fiind dimensiunile mari ale acestora.

Iluminatul pistelor pentru aterizare și decolare este reglementat pe plan internațional atât din punct de vedere al funcționalității cât și din acela al construcției fiecărui tip de aparate de iluminat destinat fiecărei funcțiuni.

Sistemele de iluminat destinate căilor de circulație rutieră, datorită vitezei mari de deplasare a autovehiculelor, impun condiții deosebite de confort vizual pentru a se asigura securitatea și fluența traficului. În general, dată fiind lățimea relativ îngustă a căilor de circulație, amplasarea uniform distribuită corespunde necesităților curente, chiar dacă uneori, la deschideri mai mari, se asociază mai multe aparate de iluminat (2...3 la un stâlp). De asemenea, pentru piețe sau intersecții largi poate să

fie adoptat și sistemul de amplasare concentrat cu mai multe aparate de iluminat sau chiar proiectoare.

Sistemele de iluminat destinate pasajelor sau tunelurilor rutiere sunt cu totul deosebite față de cazurile tratate. Astfel, din punct de vedere luminotehnic, aceste sisteme reprezintă o problemă de „interior" tratată ca o porțiune dintr-un sistem de iluminat exterior.

Față de sistemele obișnuite, statice, iluminatul pasajelor și tunelurilor are un caracter total diferit, trebuind să fie dinamic încât să se poată adapta la variațiile de iluminare exterioară (zi însorită, umbrită, de vară, toamnă, iarnă sau primăvară, seară și noapte). O astfel de adaptare corectă se va putea realiza numai prin utilizarea unui sistem de comandă automată.

În iluminatul exterior, *sistemele de iluminat decorativ* reprezintă sisteme aparte unde dominant este rolul estetic al acestora față de cel funcțional. Sistemele de iluminat decorativ sunt destinate monumentelor de artă sau de arhitectură, unor construcții de valoare istorică sau moderne importante. Sistemele de iluminat decorativ sunt utilizate și pentru obținerea de efecte plastice a spațiilor verzi sau jocurilor de apă.

9.2. Sisteme de iluminat de securitate (evacuare, pază)

Pentru zonele în care există mari aglomerări de persoane (stadioane și alte terenuri sportive), trebuie asigurat un iluminat de securitate (evacuare) similar cu cel pentru sălile mari de spectacole, care să marcheze ieșirile și căile de circulație.

De asemenea, pentru anumite obiective, se prevede un iluminat de pază, de regulă, perimetral, cu un grad sporit de protecție mecanică și siguranță în alimentarea cu energie electrică (în funcție de importanța obiectivului). Nivelurile de iluminare recomandate sunt date în tabelul I.6.3.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 10

Calculul sistemelor de iluminat exterior

Calculul SIL exterior se simplifică datorită lipsei componentei reflectate, iar precizia sa este mai mare.

O altă caracteristică a SIL exterior este faptul că sursele de lumină liniare sau punctuale vor fi considerate întotdeauna „surse punctuale, simetrice sau nesimetrice" datorită distanțelor mari de la sursă la planul util. Calculul se poate realiza, în funcție de iluminare sau de luminanță (fig. I.10.1).

10.1. Calculul sistemelor de iluminat pentru căi de circulație

10.1.1. Calculul în funcție de luminanță

Datorită creșterii circulației stradale (trafic și viteză), informațiile furnizate de distribuția iluminării în planul util sunt nesatisfăcătoare pentru o dimensionare corectă, deoarece suprafețele îmbrăcăminților drumurilor nu au o reflexie perfect difuză. Este necesară dimensionarea în funcție de luminanță, care este o mărime activă, ochiul percepând cu ușurință diferențele de luminanță. Pentru suprafețele drumurilor sau străzilor, reflexia este de tip imperfect difuză (fig. I.10.2), ceea ce face ca în funcție de poziția observatorului, valoarea luminanțelor să fie diferită, chiar dacă iluminările sunt egale.

De exemplu, în 2 puncte simetrice față de un AIL simetric, la iluminări egale, luminanțele sunt diferite în funcție de poziția observatorului.

Normele internaționale (CIE) consideră ochiul observatorului plasat la înălțimea de 1,5 m de drum pe axul benzii de circulație. Acesta privește o suprafață din drum aflată la 60 m de el și care se întinde pe o lungime de 100 m (fig.I.10.3). Această suprafață se referă la tot drumul (pe ambele sensuri de circulație, când între sensuri nu există obstacole de delimitare sau zone verzi) nu numai la banda de circulație pe care se află observatorul. Unghiurile α sub care se văd de către observator punctele aflate pe suprafața menționată mai sus variază între 0,5° și 1,5°. Pentru calcule, se consideră acest unghi constant de valoare α=1°, fiindcă între cele două limite luminanța emisă de drum nu variază sensibil.

În fig. I.10.4 este prezentat ansamblul aparat de iluminat - drum - observator și sunt definite mărimile necesare calculului (mărimi fotometrice, distanțe, înălțimi, unghiuri) luminanței din punctul P, privită de observatorul O.

Între luminanță și iluminare există relația:

$$L_p = q \cdot E_p, \qquad (10.1.1)$$

cu q≠ct pentru suprafețe de difuzie imperfectă și mixtă.

$$L_p = q \cdot E_{PH} = q \cdot M_f \cdot \frac{I_{\gamma,c} \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} \qquad (10.1.2)$$

Coeficientul de luminanță, în funcție de structura acoperământului drumului, este:

$$q = f(\alpha,\beta,\gamma) \qquad (10.1.3)$$

Cum α este considerat constant (α=1°) pentru poziția critică a observatorului, stabilită anterior conform prevederilor CIE, rezultă:

$$q = f(\gamma,\beta) \qquad (10.1.4)$$

Dacă suprafața drumului este perfect difuzantă, atunci:

$$q = \rho/\pi = ct \qquad (10.1.5)$$

În fig. I.10.5 se poate urmări reprezentarea tridimensională a variației coeficientului de luminanță q.

Volumul V reprezintă imaginea spațială a acestei variații care constituie caracteristica de reflexie a suprafeței drumului (locul geometric al mărimilor $q \approx f(\gamma,\beta)$).

Se definește coeficientul mediu de luminanță Q_0 în unghiul spațial Ω_0 cu relația:

$$Q_0 = \frac{\int_0^{\Omega_0} q(\gamma,\beta)\, d\Omega}{\Omega_0} \qquad (10.1.6)$$

Integrarea se realizează numai în spațiul corespunzător, uzual determinat în funcție de înălțimea de montare a aparatului de iluminat, h.

Se notează expresia:

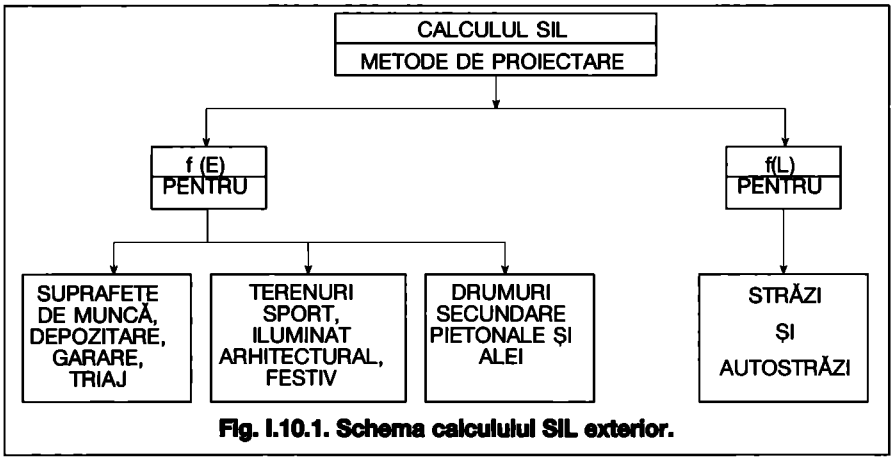


Fig. I.10.1. Schema calculului SIL exterior.

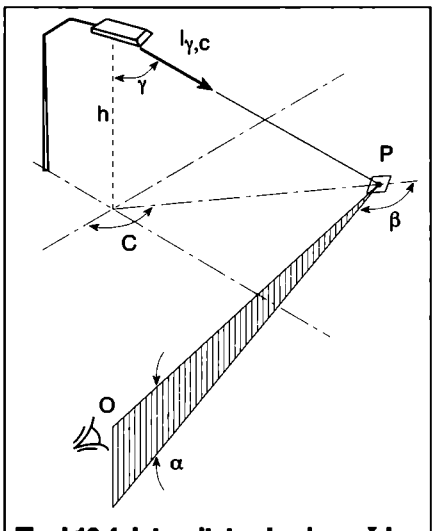


Fig. I.10.4. Intensitatea luminoasă $I_{\gamma,c}$ și coordonatele unghiulare față de poziția observatorului aflat la volan și centrul P al unei suprafețe elementare de drum.

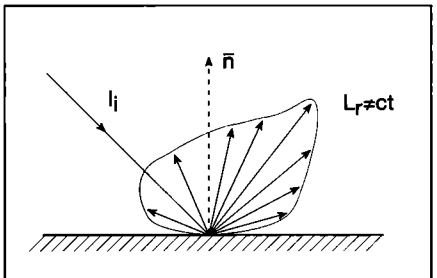


Fig. I.10.2. Reflexia difuză a luminii pe suprafața drumului.

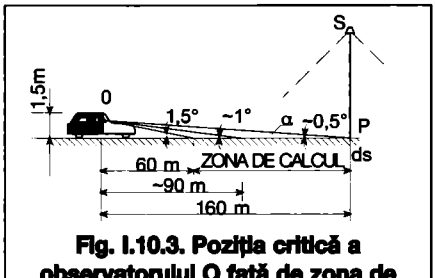


Fig. I.10.3. Poziția critică a observatorului O față de zona de calcul care influențează direct privirea conducătorului auto.

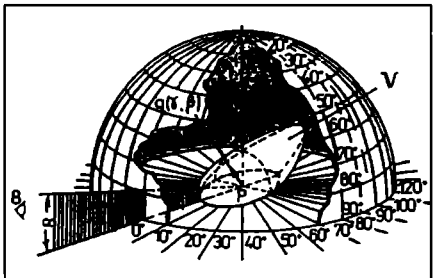


Fig. I.10.5. Reprezentarea spațială a coeficientului de luminanță q.

$q\,(\gamma,\beta)\cos^3\gamma = R(\gamma,\beta)$ (10.1.7)

în care $R(\gamma,\beta)$ este coeficientul de luminanță redus.

CIE a adoptat o nouă clasificare a îmbrăcămintelor drumurilor după factorul S_1, definit prin relația:

$S_1 = R(0,2)/R(0,0)$, (10.1.8)

în care:

$R(0,2)$ - reprezintă coeficientul de luminanță redus pentru coordonatele $\beta = 0$ și $tg\gamma = 2$;

$R(0,0)$ - reprezintă coeficientul de luminanță redus pentru coordonatele $\beta = 0$ și $tg\gamma = 0$.

Măsurarea directă a coeficienților Q_0 și S_1 au condus la realizarea aparatelor de măsurare specializate. Experiența practică a arătat că există o variație foarte mare între rețeta îmbrăcămintei drumului și realizarea sa practică, varietatea granulelor și a lianților provocând variația lui q la același tip de acoperământ.

De asemenea, schimbarea caracteristicilor se manifestă și în timp, datorită circulației și factorilor atmosferici. Astfel, trebuie căutată, practic, o soluție care să se înscrie în una din cele 4 clase curente, printr-o aproximare acceptabilă (tab. I.10.1).

Dificultatea măsurării lui $q(\gamma,\beta)$ a făcut să se renunțe la această mărime, utilizându-se valoarea medie Q_0 care dă o informație considerată satisfăcătoare pentru distribuția luminanțelor în planul util. În tabelul I.10.1 sunt date clasificările CIE actuale pentru drumuri, iar în tabelul I.10.2, noua variantă simplificată în curs de adoptare de către CIE.

Având în vedere aceste aspecte, calculul luminanțelor se poate realiza după schema din fig. I.10.6.

• *Calculul luminanței într-un punct al drumului dată de un AIL cu distribuție simetrică a intensității luminoase și cu axa optică înclinată față de drum*

Pentru calculul luminanței punctuale date de n AIL în punctul P, se utilizează relația:

$$L_P = M_f \cdot \sum_{1}^{n} \frac{r \cdot I_{\gamma,c}}{h^2} \qquad (10.1.9)$$

în care:

$r=q\cdot\cos^3\gamma$ - este determinat în funcție de β și $tg\gamma$ din Codul CIE 30.2/1990,

celelalte mărimi având semnificațiile cunoscute.

• *Calculul grafoanalitic al luminanțelor punctuale cu ajutorul curbelor de izoluminanță relativă*

Calcul este posibil numai atunci când se cunosc curbele de izoluminanță relative ale aparatului de iluminat pentru cele 4 clase de drumuri CIE.

A doua condiție de aplicabilitate este ca determinările să se facă în câteva puncte fixe pentru sondaj, fie pentru determinarea lui L_{min} sau L_{max}. Curbele de izoluminanță relative sunt date în procente din L_{max} independent de înălțimea de montare a AIL.

Diagramele sunt calculate pentru un observator amplasat într-un plan C_0 vertical, coliniar cu axul O (fig. I.10.7) situat la o distanță egală cu 10 h față de AIL.

Pot apărea 2 situații:

- observatorul coliniar cu axa OO' a AIL sau
- în afara axei OO'.

Curbele izoluminanță sunt construite în prima ipoteză, iar metoda se poate utiliza direct. Astfel, se aplică pe planul aflat la scara diagramei, curbele izoluminanță desenate pe hârtie transparentă, axul drumului și axul diagramei fiind paralele, iar punctul central al diagramei se plasează pe poziția AIL, citind luminanța relativă L_r într-un punct P.

Luminanța absolută în punctul P este:

$$L_P = M_f \frac{a \cdot L_r \cdot n \cdot \varphi_l \cdot Q_0}{h^2} \qquad (10.1.10)$$

în care:

a - este factorul de amplificare caracteristic al diagramei AIL dat de producător;

n - este numărul de lămpi ale AIL;

φ_l - este fluxul unei lămpi [lm];

Q_0 - este coeficient de luminanță mediu al clasei CIE;

h - este înălțimea de montare a AIL [m];

M_f - este factor de menținere a sistemului AIL - sursă de lumină.

În ipoteza a doua, diagrama izoluminanță se rotește având un punct fix în poziția AIL, iar axa sa longitudinală OO' trebuie să fie coliniară cu dreapta ce trece prin AIL și punctul ce marchează poziția observatorului.

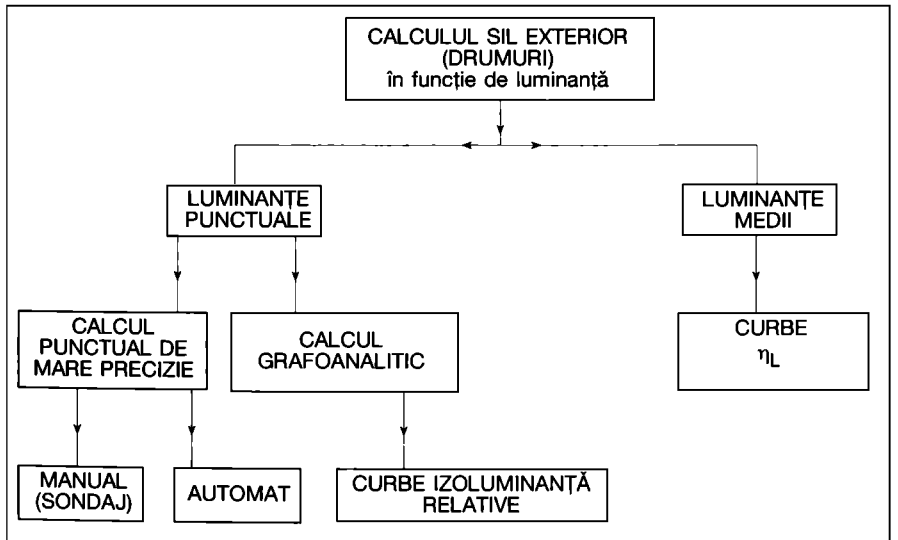


Fig. I.10.6. Calculul SIL în funcție de luminanță.

Tabelul I.10.1. Clasificarea R a suprafețelor drumurilor

Clasa	Limite pentru S_1	Sistem „R"		Tip reflexie
		S_1 standard	Nominalizare Q_0	
RI	$S_1 < 0,42$	0,25	0,10	Difuză
RII	$0,42 \le S_1 < 0,85$	0,58	0,07	Aproape difuză
RIII	$0,85 \le S_1 < 1,35$	1,11	0,07	Strălucitoare
RIV	$1,35 \le S_1$	1,55	0,08	Foarte strălucitoare

Tabelul I.10.2. Clasificarea C a suprafețelor drumurilor

Clasa	Limite pentru S_1	S_1 standard	Nominalizat Q_0
CI	$S_1 < 0,4$	0,24	0,10
CII	$S_1 \ge 0,4$	0,97	0,07

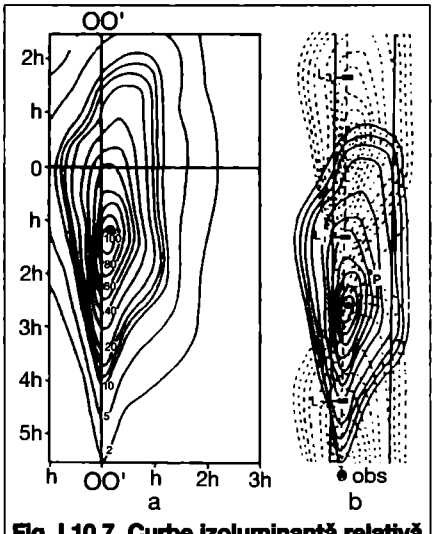


Fig. I.10.7. Curbe izoluminanță relativă caracteristice unui AIL în care L_{max} = 100 %:
a - curba de referință; b - utilizarea pe un fragment de drum.

Dacă rotirea $\beta < 5°$, eroarea este: ±10 %, relația de calcul fiind aceeași.

• *Calculul luminanței medii*

De multe ori, în calculul SIL exterior, este necesar să se cunoască luminanța medie ce caracterizează zona de calcul. Aceasta se poate determina prin:

- *metoda analitică* - ce constă în calculul luminanțelor punctuale pe o rețea densă de puncte aflate în zona de interes. Acest calcul cuprinde un volum imens de muncă, greu de realizat chiar și cu ajutorul metodelor grafo-analitice prezentate anterior. De aceea, se recomandă utilizarea calculului automat. Luminanța medie efectivă se determină cu relația:

$$L_{med.ef} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} L_{P_i} \qquad (10.1.11)$$

unde:

L_{Pi} - este luminanța punctelor P_i din zona de calcul,

n - numărul de puncte caracteristice ale rețelei (centrale unor suprafețe dreptunghiulare).

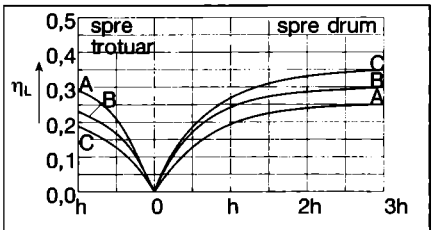


Fig. I.10.8. Curba η_L pentru calculul luminanței medii:

A - pentru un observator amplasat în zona trotuarului la o distanță h de linia AIL; B - pentru un observator amplasat pe linia AIL; C - pentru un observator amplasat pe drum, la o distanță h de linia AIL.

SIL este considerat bun dacă luminanța medie reală este mai mare sau cel puțin egală cu valoarea admisibilă ($L_{med.ad}$) ce corespunde tipului de drum pentru care se face calculul.

- *metoda grafo-analitică* - constă în determinarea luminanței medii cu ajutorul factorului de utilizare η_L pentru luminanță și poate fi utilizată numai în condițiile în care producătorul de AIL pune la dispoziția proiectantului curbele caracteristice η_L pentru tipul de AIL utilizat (fig. I.10.8).

În acest caz, luminanța medie este dată de relația:

$$L_{med} = M_f \frac{\eta_L \cdot n \cdot \varphi_l \cdot Q_0}{A} \qquad (10.1.12)$$

unde:

η_L - este factorul de utilizare caracteristic AIL (extras din curbele date de producător);

M_f - factorul de menținere pentru ansamblul AIL - sursă de lumină;

Q_0 - coeficientul de luminanță mediu al clasei CIE a drumului;

φ_l - fluxul unei lămpi [lm];

A - aria de drum considerată între două AIL amplasate consecutiv pe aliniament.

10.1.2. Calculul în funcție de iluminare

Se aplică pentru ariile utilitare, parcări, terenurile sportive și căi de circulație, în care vitezele de deplasare sunt mici, sau alei pentru pietoni.

Pentru acest calcul s-au stabilit metode specifice diferite ca formă, dar nu ca fond (fig. I.10.9), în funcție de tipul AIL ales (simetric sau nesimetric) și în funcție de modul de orientare a AIL (cu axa optică perpendiculară sau înclinată față de planul drumului).

În general, calculul analitic al iluminărilor punctuale din planul util se realizează cu ajutorul relațiilor cunoscute pentru surse punctiforme (cap. 7.1.1):

- pentru plan orizontal

$$E_{PH} = M_f \cdot \frac{I_{\gamma,c} \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} \qquad (10.1.13)$$

- pentru plan vertical

$$E_{PV} = M_f \cdot \frac{I_{\gamma,c} \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} \cdot \frac{d}{h} \qquad (10.1.14)$$

- pentru un plan oarecare

$$E_{PO} = M_f \cdot \frac{I_{\gamma,c} \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} \cdot \left(\cos\delta \pm \frac{d}{h} \sin\delta \right) \qquad (10.1.15)$$

unde:

$I_{\gamma,c}$ - este intensitatea luminoasă emisă de sursa de lumină și orientată către punctul în care se calculează iluminarea;

γ,c - unghiurile care definesc intensitatea luminoasă $I_{\gamma,c}$;

h - înălțimea de montare a AIL;

d - distanța dintre proiecția sursei de lumină pe planul util și punctul pentru care se face calculul;

M_f - factorul de menținere;

δ - unghiul format între planul oarecare unde se calculează iluminarea și planul orizontal.

Metoda de calcul analitic al iluminărilor punctuale este laborioasă și necesită un volum foarte mare de muncă. Cu ajutorul programelor special realizate pentru calculul punctual al iluminării, calculul devine precis și rapid.

Pentru calculul iluminărilor punctuale se pot utiliza și metode grafoanalitice:

- pentru AIL simetrice, folosind graficul iluminării în funcție de distanță, $E = f(a)$;
- pentru AIL nesimetrice, folosind curbe izolux relative (similară cu metoda curbelor izoluminanță relative), acestea când sunt cunoscute.

Este de menționat că metodele grafo-analitice au fost, practic, abandonate, fiind înlocuite cu programe de calcul automat, specializate.

În majoritatea SIL exterior, AIL sau proiectoarele sunt înclinate față de verticala locului, astfel încât între aceasta și axul optic există un unghi $\rho \neq 0$. Desigur că relațiile de calcul sunt cele cunoscute, fiind necesare precizări privind geometria spațială pentru determinarea coordonatelor de poziție și a unghiurilor de referință.

Fie AIL nesimetric (proiector) din fig. I.10.10, înclinat cu axa optică O'O" față de verticala OZ cu unghiul ρ. Se consideră un sistem de axe tridimensionale față de care se vor fixa coordonatele sursei.

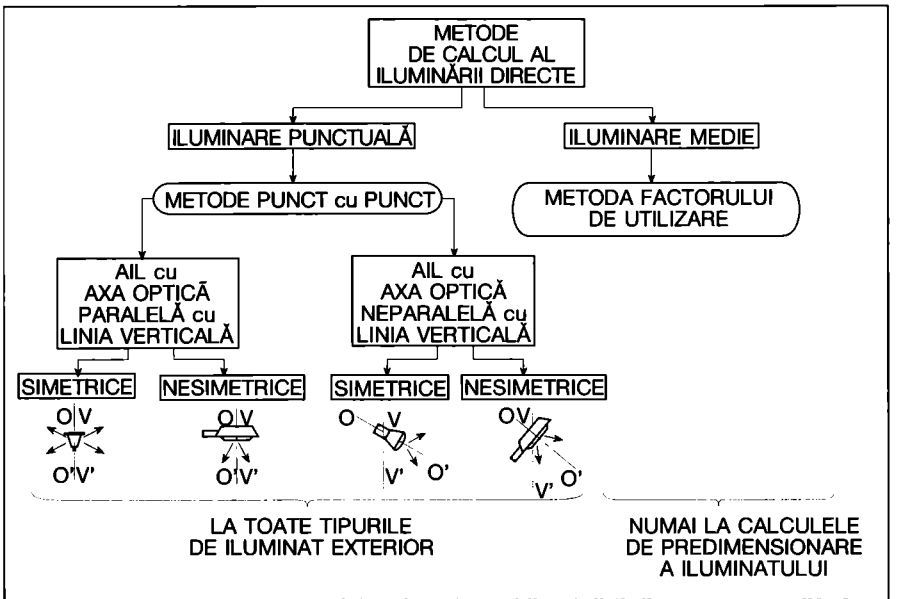


Fig. I.10.9. Clasificarea metodelor de calcul al iluminării directe pentru diferite tipuri de AIL și amplasări față de linia verticală a sursei de lumină.

Dacă O'P= l, rezultă:

$$l = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \qquad (10.1.16)$$

$$\theta = arcsin\frac{OP}{O'P} = arcsin\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{l} \qquad (10.1.17)$$

Se notează cu γ_l - unghiul corespunzător unei distribuții longitudinale față de AIL și γ_t - cel corespunzător direcției transversale. Rezultă:

$$\gamma_l = arctg\frac{O''P}{O'O''} \qquad (10.1.18)$$

$$\gamma_t = arctg\frac{OO''}{OO'} - \rho \qquad (10.1.19)$$

Iluminarea în punctul P(X,Y) (fig. I.10.11) se poate exprima cu relația de bază:

$$E_{H(X,Y)} = M_f \cdot \frac{I_{\gamma_l,\gamma_t} \cdot \cos\theta}{l^2} \qquad (10.1.20)$$

Pentru iluminatul în plan vertical, (fig. I.10.11) se consideră componenta pe planul paralel cu YOZ (normala $\bar{n}_x$).

$$E_{VX} = E_{H(X,Y)} \cdot \frac{X}{Z} \qquad (10.1.21)$$

și componenta pe planul paralel cu XOZ (normala $\bar{n}_y$):

$$E_{VY} = E_{H(X,Y)} \cdot \frac{Y}{Z} \qquad (10.1.22)$$

Cu aceste relații se pot determina iluminările punctuale în plan orizontal pentru surse nesimetrice sau simetrice (când intensitatea luminoasă va depinde numai de un singur unghi).

Cum calculele manuale sunt laborioase dată fiind multitudinea de puncte necesare ridicării unei hărți a iluminărilor, este indicat calculul automat.

10.2.Calculul sistemelor de iluminat pentru alte arii

Metodologia de calcul a SIL pentru suprafețe pe care se desfășoară diferite alte activități (terenuri de sport, platforme industriale, parcaje, exploatări carbonifere deschise, depozite de combustibil etc.) se bazează pe calculul iluminărilor punctuale care a fost prezentat în § 10.1.2.

Astfel, după alegerea inițială a SIL exterior (amplasare, înălțime, tip surse, tip AIL și poziția lor), se trece la verificarea prin calcul automat a condițiilor cantitative (pentru realizarea unui nivel de iluminare mediu corespunzător) și calitative (al distribuției iluminărilor în plan orizontal și/sau vertical, după cum sunt cerințele de uniformitate).

Calculul iluminării punctuale se realizează prin metoda punct cu punct.

Datorită avantajelor pe care le oferă, analiza cantitativă și calitativă se va realiza numai cu ajutorul calculatorului, prin intermediul programelor realizate în acest scop.

10.3. Calculul sistemelor de iluminat decorativ

Sistemele decorative, unde nu este necesară o precizie deosebită a calculului, utilizează metode aproximative din care se menționează:

- fluxul luminos (similară metodei factorului de utilizare);
- intensitatea luminoasă (rezultată din legea generală a iluminării).

• Metoda fluxului luminos

Cunoscând iluminarea recomandată E [lx] pe o anumită suprafață de arie A [m^2] a obiectivului de iluminat (construcție, monument), rezultă fluxul necesar:

$$\Phi_{nec} = E \cdot A/\eta \cdot M_f \qquad (10.3.1)$$

în care:

η - este factorul de utilizare a proiectorului respectiv,

M_f - factorul de menținere a ansamblului sursă-aparat,

(se poate lua $\eta \cdot M_f = 0{,}25...0{,}35$).

Numărul de proiectoare n necesare este determinat cu relația:

$$n = \Phi_{nec}/\Phi_p \qquad (10.3.2)$$

în care:

Φ_p - este fluxul luminos emis de un proiector.

• Metoda intensității luminoase

Un proiector ce este amplasat la înălțimea h (fig.I.10.12 a) și care trebuie să realizeze pe o suprafață verticală pe axa sa o iluminare E_v, trebuie să emită o intensitate luminoasă:

$$I_\gamma = 1/M_f \cdot E_v \cdot d^2 \qquad (10.3.3)$$

Dacă proiectorul se află la înălțimea $h = 0$ (montat pe suprafața solului) și

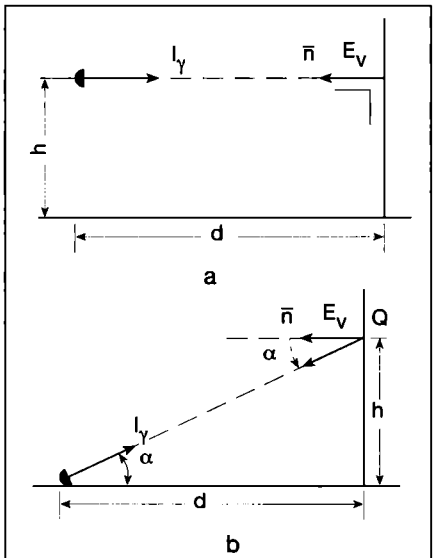


Fig. I.10.12. Determinarea intensității luminoase în funcție de E_v:
a - proiector montat la înălțimea h;
b - proiector montat la nivelul solului.

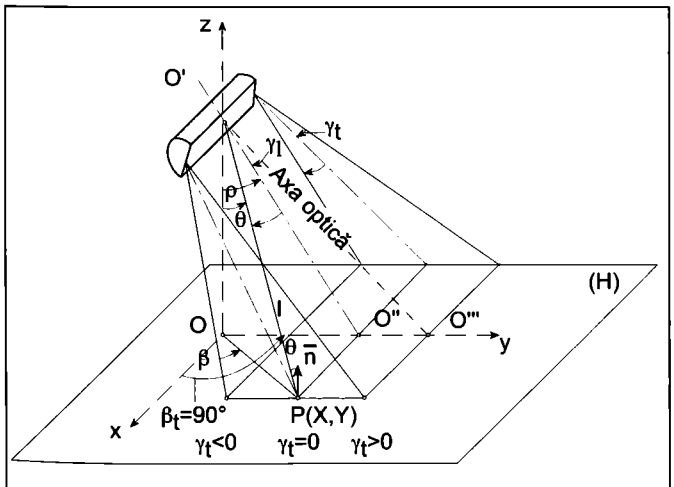


Fig. I.10.10. Parametrii geometrici pentru un AIL nesimetric/proiector înclinat față de axa verticală.

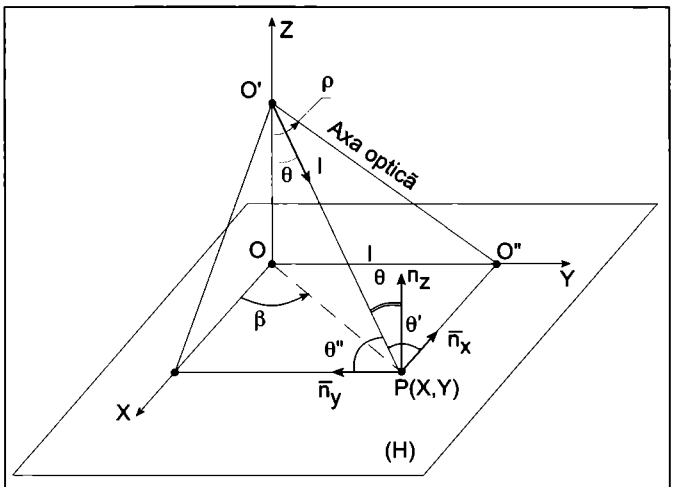


Fig. I.10.11. Date asupra determinării iluminării directe în plan vertical.

se impune în punct o iluminare verticală E_v (în Q), rezultă, conform fig.I.10.12 b:

$$I_\gamma = \frac{E_v \cdot h^2}{M_f \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha} \quad (10.3.4)$$

Pentru o poziție oarecare a punctului P, relația va rezulta din geometria desenului.

În funcție de intensitatea necesară, din curba de distribuție a intensității luminoase, se determină tipul de proiector necesar și sursa de lumină corespunzătoare.

Diametrul petei de lumină pe suprafața verticală a obiectivului va fi (fig. I.10.13):

$D = 2d \cdot tg\ \beta/2$ (10.3.5)

10.4. Evaluarea calitativă a distribuției luminanțelor

Se utilizează metode care au drept scop aprecierea sistemelor de iluminat din punct de vedere al fenomenului de orbire fiziologică și psihologică ce-l poate crea utilizatorului sistemului.

Aprecierea orbirii psihologice în planul suprafeței luminate, atât pentru circulația rutieră, cât și pentru celelalte arii se realizează calculând factorii de uniformitate (E_{min}/E_m și E_{min}/E_{mx}).

Pentru orbirea fiziologică există metode specifice prezentate în continuare pentru căi de circulație și pentru terenuri mari de sport.

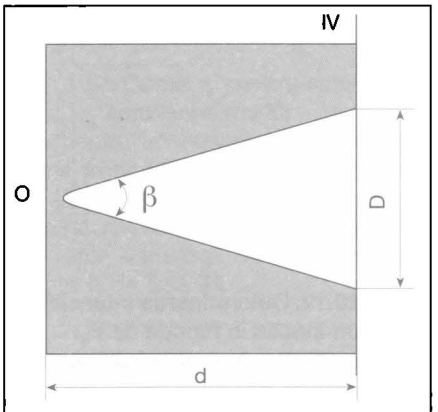


Fig. I.10.13. Unghiul plan în care este emis fluxul luminos al proiectorului utilizat și diametrul „petei de lumină" obținută pe suprafața obiectivului.

• Evaluarea orbirii SIL din circulația rutieră

În circulația rutieră, problema orbirii psihologice și fiziologice este foarte importantă pentru desfășurarea în condiții de maximă securitate a traficului, având în vedere că viteza de deplasare a autovehiculelor este mare.

- *Evaluarea orbirii psihologice în planul căii de circulație* se realizează prin factorul de uniformitate general U_0 pe toată suprafața drumului ABCD și factorul de uniformitate longitudinal U_l care se referă la iluminările de pe linia de deplasare (fig. I.10.14) a observatorului (axul benzii de circulație pe care se află).

Relațiile sunt:

$U_0 = L_{min}/L_m$, pe zona ABCD (10.4.1)

și

$U_l = L_{min}/L_{mx}$, pe linia O'O'', (10.4.2)

- *Evaluarea orbirii psihologice în câmpul vizual* se calculează cu relația empirică:

$TI = 65 \cdot L_v / L_m^{0,8}$ [%] (10.4.3)

Lumina produsă de sursele care generează orbirea se suprapune ca un „voal" luminos pe imaginea receptată a obiectivului. Luminanța de voal L_v se poate calcula cu relația empirică Stiles - Holladay:

$$L_v = k \sum_{i=1}^{n} \frac{E_{\theta_i}}{\theta_i^2} \quad (10.4.4)$$

în care:

E_{θ_i} - este iluminarea pe retina ochiului observatorului într-un plan perpendicular pe linia vederii *(V)* determinată de sursa perturbatoare S_i (fig. I.10.15);

θ_i - este unghiul dintre direcția vederii și direcția intensității luminoase I_i orientată de la sursă către ochi;

k - este factorul de vârstă (se ia în calcul în mod curent valoarea 10).

Valorile admise ale indicelui TI sunt date în § 12 și variază între 10 și 20 %, în funcție de destinația drumului.

- *Evaluarea orbirii fiziologice în câmpul vizual* se realizează printr-un indice global G calculat cu relația empirică:

$G = 13,84 - 3,31 \cdot \log I_{80} + 1,31 (\log I_{80}/I_{88})^{1/2} - 0,08 \cdot \log I_{80}/I_{88} + 1,29 \cdot \log F + 0,97 \cdot \log L_m + 4,41 \cdot \log h' - 1,46 \cdot \log p + c$ (10.4.5)

în care:

I_{80} - este intensitatea luminoasă maximă la un unghi de înălțime $\gamma = 80°$ și un unghi de azimut c = 0...20° [cd];

I_{88} - este intensitatea luminoasă maximă la un unghi de înălțime $\gamma = 88°$ și un unghi de azimut $c = 0...20°$ [cd];

F - este aria suprafeței luminoase a AIL, proiectată sub un unghi de 76° față de verticală [m^2];

L_m - luminanța medie a șoselei [cd/m^2];

h' - înălțimea AIL deasupra nivelului ochiului observatorului de la volan (h' = h-1,5m), unde h este înălțimea de montaj a AIL [m];

p - numărul de AIL pe kilometru [1/km];

c - un factor de corecție în funcție de culoare ($c = 0,4$ pentru lămpi cu vapori de sodiu de joasă presiune, $c = 0$ pentru lămpi cu vapori de sodiu de înaltă presiune și/sau pentru lămpi cu vapori de mercur de înaltă presiune).

Valorile admise ale indicelui global de orbire G sunt date în tabelul I.10.3.

Pentru căile cu circulație redusă din zonele rezidențiale evaluarea orbirii se realizează diferit (§ 12).

Orbirea psihologică și fiziologică în câmpul vizual este interpretată în mod diferit de diferiții cercetători. În acest capitol se ia în considerare efectul de inconfort creat de multitudinea surselor ce pot fi vizibile și efectul de incapacitate produs în câmpul vizual de sursele din zona 60 ...160 m.

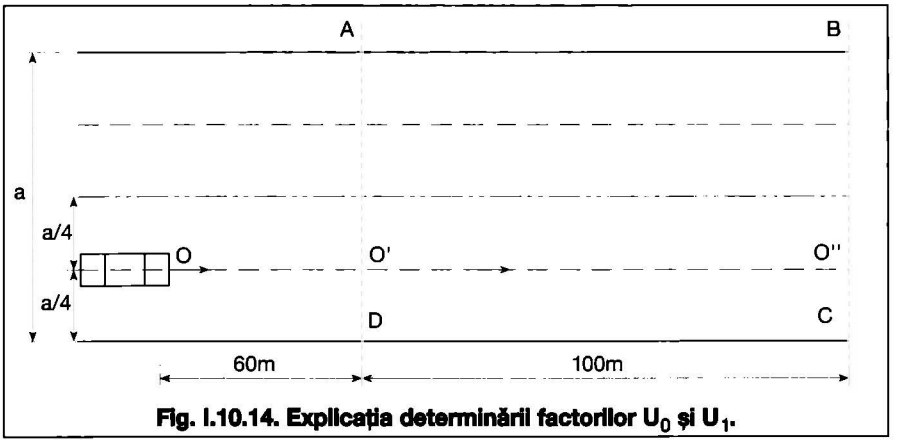


Fig. I.10.14. Explicația determinării factorilor U_0 și U_1.

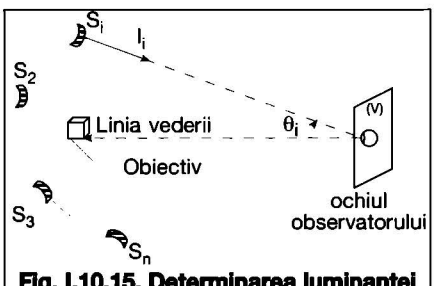


Fig. I.10.15. Determinarea luminanței de voal L_v pe retina unui observator.

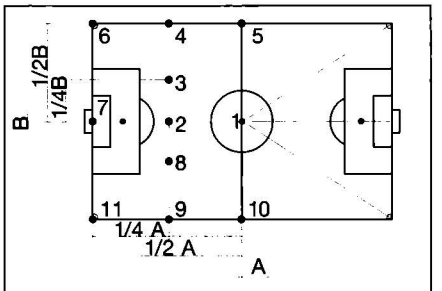


Fig. I.10.16. Puncte caracteristice pentru determinarea valorii GR.

• Evaluarea orbirii SIL pentru terenurile de sport

Pentru orbirea fiziologică a SIL pentru terenurile de sport, CIE recomandă o metodă pe baza indicelui global *GR* dat de relaţia empirică:

$$GR = 27+24 \log L_{vi}/L_{ve}^{0,9} \quad (10.4.6)$$

în care:

$$L_{vi} = \sum_{1}^{n} \frac{E_{\theta_i}}{\theta_i^2} \quad (10.4.7)$$

(cu semnificaţiile din fig. I.10.15), iar L_{ve} este luminanţa suprafeţei orizontale perfect difuzante, dată de relaţia:

$$L_{ve} = k \frac{\rho}{\pi} E_m \quad (10.4.8)$$

unde:

k - este un coeficient de corecţie;

E_m - este iluminarea medie orizontală;

ρ - este reflectanţa suprafeţei terenului.

Valoarea admisibilă pentru GR = 50.

Pentru calculul lui E_m conform CIE se determină iluminarea în 11 puncte caracteristice indicate în fig. I.10.16.

Pentru orbirea psihologică din planul suprafeţei terenurilor, verificarea se realizează prin factorii de uniformitate

$$U_1 = \frac{E_{min}}{E_{mx}}; \quad U_2 = \frac{E_{min}}{E_m}$$

Aceşti factori trebuie să fie mai mari decât valorile indicate în §12 pentru categoria respectivă de teren.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 11

Proiectarea sistemelor de iluminat interior

11.1. Metetodologia de proiectare

Concepția sistemelor de iluminat este un proces complex care trebuie să se bazeze pe o strânsă armonizare între aspectele ce realizează ambianța interioară confortabilă, plăcută, capabilă să asigure desfășurarea activității (de muncă, divertisment, odihnă, circulație ș.a.) în condiții corespunzătoare din punctele de vedere funcțional și estetic.

Sistemul de iluminat trebuie să fie funcțional pentru a asigura desfășurarea corespunzătoare a activității umane, adaptat la realizarea tuturor aspectelor specifice variabile în timp și spațiu.

Sistemul de iluminat trebuie să fie estetic, plăcut, cu o distribuție judicioasă a luminanțelor și culorilor în câmpul vizual, în armonie cu ambianța estetică - arhitecturală (atât ca volume interioare, elemente de construcții, vitrare, culori, cât și ca formă, amplasament, dimensiuni și culoare de mobilier sau de utilaje).

Sistemul de iluminat trebuie să fie, în același timp, rentabil din punctul de vedere al investiției și al consumului de energie electrică, asigurând confort maxim.

Soluția unui sistem de iluminat se stabilește printr-o cooperare între specialități, astfel:
- de iluminat, care stabilește soluția din punctul de vedere luminotehnic;
- de arhitectură, care rezolvă aspectele estetice și funcționale;
- de tehnologie, care rezolvă aspectele tehnologice specifice (în special, în industrie);
- de instalații electrice care stabilește soluția de alimentare și conectare la sursa sau sursele de energie electrică (fig. I.11.1).

Un iluminat necorespunzător conduce la oboseală vizuală, ceea ce se reflectă în scăderea performanței vizuale.

În conformitate cu structura concepției unui sistem de iluminat interior se realizează metodologia proiectării, schematizată în fig. I.11.2.

Alegerea nivelului de iluminare trebuie realizată conform codului CIE de iluminat interior ale cărui indicații sunt date în tabelul I.11.1. Pentru o activitate se indică 3 trepte, lăsându-se la latitudinea și competența proiectantului alegerea celei corespunzătoare pe baza datelor luminotehnice specifice locului.

Prima treaptă corespunde valorilor minime pentru nivelurile de iluminare, cea de a doua, valorilor recomandate și cea de a treia, valorilor pentru un confort ridicat. Un beneficiar poate solicita niveluri de iluminare mai ridicate, pentru a asigura un confort deosebit fiecărui loc de muncă, dar nu poate solicita reducerea nivelului de iluminare sub treapta minimă recomandată pentru respectivele locuri de muncă.

Pentru procesele de muncă neprevăzute în tabelul I.11.1, în funcție de sarcina vizuală și condițiile de ambient, se alege un nivel corespunzător unei activități similare.

Valoarea maximă se ia în considerare dacă:
- sarcina vizuală are reflectanță mică sau contrastul este scăzut;
- erorile în activitate sunt greu de rectificat;
- sarcina vizuală este dificilă;
- acuratețea sau productivitatea sunt foarte importante;
- capacitatea vizuală a lucrătorului este scăzută.

Valoarea minimă se ia în considerare dacă:

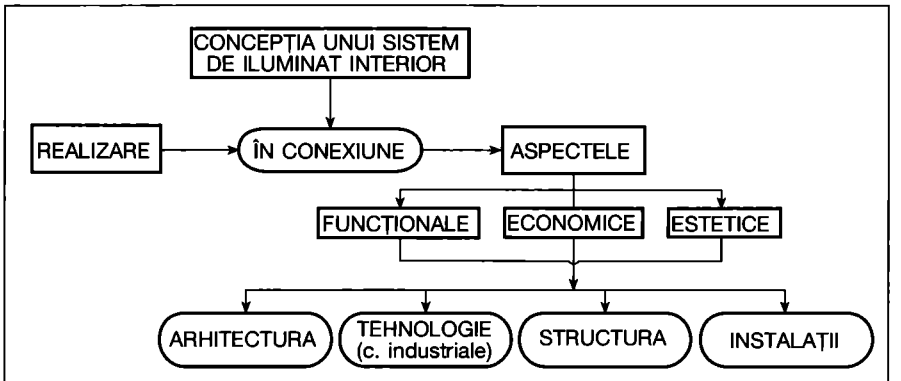


Fig. I.11.1. Structura concepției unui sistem de iluminat interior. MLIC - mediu luminos interior confortabil

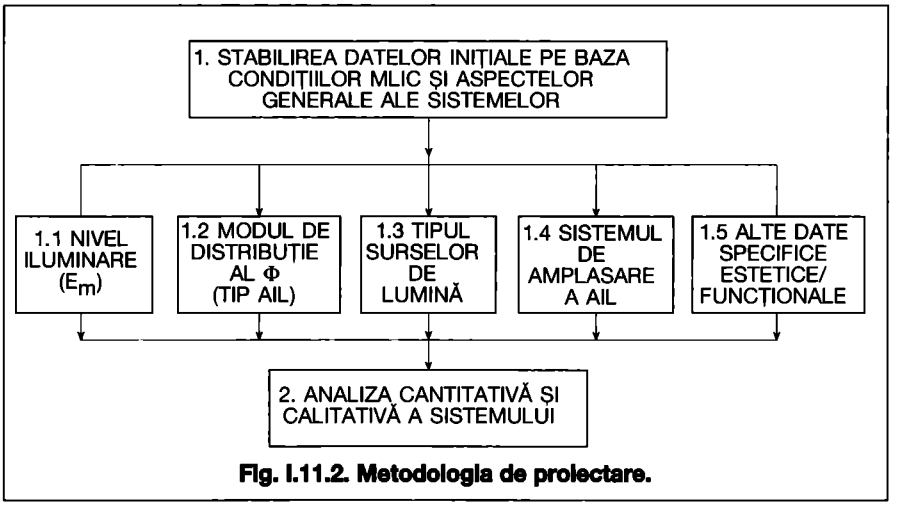


Fig. I.11.2. Metodologia de proiectare.

Tabelul I.11.1. Treptele nivelurilor de iluminare recomandate pentru diferite sarcini și activități vizuale

Valoarea iluminărilor [lx]	Tipul de sarcină sau activitate vizuală
20 - 30 - 50	Spații de intrare din exterior
50 - 75 - 100	Spații de circulație, orientare simplă sau vizite scurte, temporare
100 - 150 - 200	Camere nefolosite în mod continuu, pentru scopuri de lucru (ex.: supraveghere industrială, suprafețe de depozitare, vestiare, holuri de intrare)
200 - 300 - 500	Sarcini cu necesități vizuale simple (ex.: prelucrări brute, săli de învățământ și conferințe)
300 - 500 - 750	Sarcini cu necesități vizuale medii (ex.: prelucrări medii, birouri speciale, camere de control)
500 - 750 - 1000	Sarcini cu necesități vizuale pretențioase (ex.: croitorie, inspecție și testare, ateliere de desen)
750 - 1000 - 1500	Sarcini cu necesități vizuale dificile (ex.: prelucrări fine și asamblare, montare, distingere de culori
1000 - 1500 - 2000	Sarcini cu necesități vizuale speciale (ex.: gravură manuală, inspectare a lucrărilor foarte fine)
2000	Îndeplinirea unor sarcini vizuale foarte exacte (ex.: asamblări electronice minuțioase, intervenții chirurgicale)

- sarcina vizuală sau contrastul sunt mari;
- viteza sau siguranța în activitate nu sunt importante;
- sarcina vizuală este numai ocazională.

Valoarea medie reprezintă valoarea recomandată.

De asemenea, se pot utiliza și standardele din seria 6646 în măsura racordării la sistemul internațional.

Proiectul de iluminat trebuie să se realizeze încă de la primele faze, coordonat cu arhitectura și celelalte aspecte, să urmărească „pas cu pas" procesul de concepție unitară. Tratarea iluminatului, independent de clădire sau invers, poate conduce la soluții defectuoase. Numai printr-o astfel de tratare se poate obține un mediu luminos interior confortabil, o ambianță luminoasă plăcută care să servească estetica și funcțiunile cerute în condițiile unui consum energetic minim.

11.2. Tipuri și soluții de sisteme

Capitolul tratează soluții ale sistemelor de iluminat recomandate pentru diverse destinații ale clădirilor/încăperilor pe baza condițiilor cantitative și calitative determinante în realizarea mediului luminos. De asemenea, se pun în evidență aspectele caracteristice ale fiecărui tip de sistem și aspectele specifice.

11.2.1 Locuințe, hoteluri, moteluri

Sistemele de iluminat destinate acestor clădiri au un rol important în realizarea unei ambianțe calde, plăcute, atrăgătoare. Totodată, au un rol important în accentuarea aspectelor arhitectonice și decorative.

• Aspecte cantitative

Nivelurile de iluminare se caracterizează prin valori mai reduse în raport cu alte destinații, variind conform normelor internaționale între 50 și 500 lx (tab. I.11.2.).

Pentru a realiza confortul vizual necesar și un echilibru al luminanțelor, favorabil, sunt recomandate aparatele de iluminat cu distribuție superioară a fluxului, cum ar fi:

- indirectă, semiindirectă și direct-indirect pentru dormitoarele din locuințe și încăperile de cazare din hoteluri;
- direct-indirect și semidirectă pentru încăperile de zi din locuințe, holuri și zona de recepție din hoteluri.

• Aspecte calitative

Distribuția luminanțelor în câmpul vizual trebuie să fie echilibrată pentru evitarea și diminuarea orbirii fiziologice și psihologice. De aceea se recomandă utilizarea AIL cu protecție vizuală și cu o distribuție corespunzătoare a fluxului luminos.

Se recomandă surse de culoare caldă. Sunt de preferat sursele fluorescente compacte și tubulare - de culoare caldă, cu temperatura de culoare de maxim 3000 K și cu un coeficient de redare a culorilor *Ra* > 80. Acestea din urmă vor fi de dimensiuni corespunzătoare spațiului în care se montează.

Armonizarea culorilor suprafețelor reflectante (finisaje pereți, plafon, uși, ferestre, draperii ș.a.) și culoarea caldă a sursei constituie, de asemenea, un aspect foarte important al obținerii mediului plăcut, odihnitor, relaxant. Aceasta cade în sarcina arhitectului proiectului.

Modelarea este o problemă importantă pentru realizarea unei ambianțe plăcute în anumite zone ale locuinței (camera de zi) sau în holurile și camerele de așteptare ale hotelurilor. Aceasta se realizează cu un iluminat direcționat (cu spoturi sau galerii și nișe iluminate) care, la rândul său, poate creea efecte deosebit de plastice și interesante.

• Sisteme de iluminat pentru locuințe

În locuințe, pe lângă atractivitatea și ambianța caldă, SIL trebuie să prezinte

Tabelul I.11.2. Niveluri de iluminare

	Iluminarea [lx]
A. Hoteluri, moteluri	
- hol principal intrare	300...500
- recepție, casierie	150...200
- bar	100...150
- restaurant	150...200
- holuri de odihnă, garderobă	50...100
- camere cazare	150...300
- dormitor local (noptieră,toaletă)	100...200
- săli de baie	150 (ziua)
- coridoare	20 (noaptea)
B. Locuințe	
- camere de zi	50...100
- dormitoare	50
- iluminat local birou, citit, scris	200...300
- iluminat local masă (mâncare)	100...150
- bucătărie	300
- baie (la oglindă)	100...200

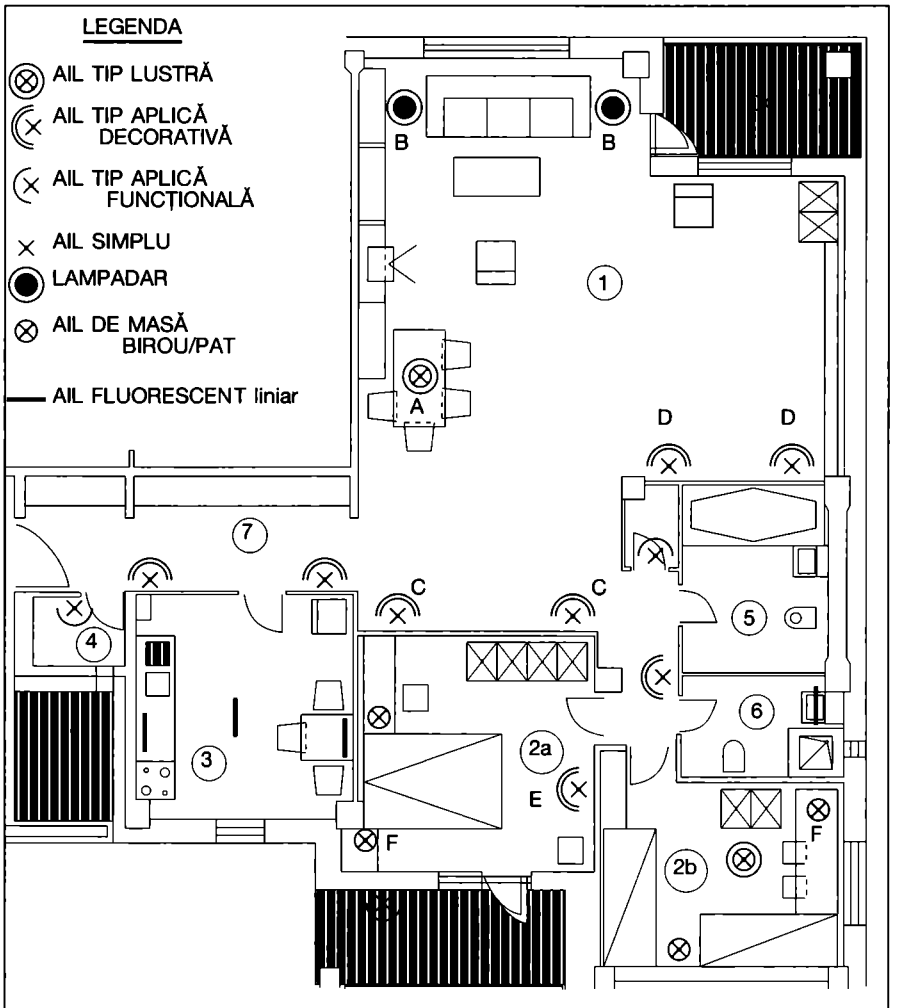


Fig. I.11.3. SIL pentru un apartament:
1 - cameră de zi; 2 - camere de dormit; 3 - bucătărie; 4 - cămară; 5 - cameră de baie; 6 - cameră pentru duș; 7 - hol.

și flexibilitate în timp și spațiu, atât din punct de vedere al variației nivelului de iluminare, cât și al poziției AIL (în special, în camerele de zi). În camerele de zi se recomandă un iluminat general cu unul sau mai multe AIL de tip plafonieră. Utilizarea de aparate de comandă cu reglare fină sau în trepte permite obținerea nivelurilor ambientale mai scăzute: de veghe, de vizionare T.V. ș.a.

Pentru sarcini vizuale de citit sau scris și pentru economie energetică, se recomandă utilizarea iluminatului local. Acesta se realizează fie cu AIL de birou, masă, fie cu lampadare. Trebuie menționat că sistemele de iluminat clasice, cu lustre atârnate de plafon, reprezintă o soluție depășită, prezentând următoarele aspecte negative:

- micșorarea spațiului liber și accentuarea senzației de înălțime mică;
- orbirea directă produsă de AIL transparente, aflate în zonă sau în apropierea zonei câmpului vizual central. Soluția este acceptabilă numai la încăperi de peste 3,50...4,0 m (clădiri vechi).

Soluțiile moderne folosesc aparate de iluminat plate, la plafon, sau când există plafon fals, semiîngropate/îngropate. Când camera de zi are dimensiuni mai mari (30 m^2 sau mai mult), o sursă centrală nu mai poate satisface necesitățile de uniformitate și funcționale. În acest caz, iluminatul general, zonat, reprezintă o soluție estetică și eficientă. În fig. I.11.3 unde camera de zi are o suprafață mare și o formă geometrică variată s-au prevăzut mai multe sisteme de iluminat:

A - AIL montat deasupra mesei, care realizează un iluminat localizat;
B - lampadare mobile montate în zona de odihnă, de citit, de relaxare (cu comanda locală);
C - aplice fixe, montate pe perete, ce pot fi utilizate pentru iluminat ambiental, plăcut, cu o distribuție semiindirectă sau indirectă;
D - aplice fixe în zona din cameră care poate fi utilizată pentru lucru la birou.

Utilizarea unui număr mare de AIL nu reprezintă o risipă de energie, ci o flexibilitate a instalației, care poate fi astfel folosită în mai multe scopuri dictate de tipul activității.

Utilizarea aparatelor de comandă cu reglare fină este o condiție de funcționalitate și eficiență energetică.

Utilizarea unor SIL decorative are ca scop punerea în evidență a unor obiecte de artă sau a unor elemente de arhitectură și reprezintă o soluție agreabilă prin efectele sale. În fig. I.11.4 se pot urmări câteva soluții de iluminat local de efect: al unor elemente de arhitectură (nișă) (fig. I.14.4 a), al unei porțiuni dintr-un perete (fig. I.11.4 b), al unei porțiuni dintr-un mobilier-bibliotecă/vitrină (fig. I.11.4 c), al peretelui parțial al plafonului (fig. I.11.4 d) sau al ferestrei și perdelei. Efectele decorative obținute pot fi favorabile dacă se are în vedere evitarea stridențelor și realizarea unor aspecte reale de frumos, de bun gust.

În cazul în care se dorește punerea în evidență sau accentuarea unor obiecte decorative (sculpturi, vaze ș.a.), se pot utiliza spoturile luminoase. Lămpile sistemelor de iluminat vor fi incandescente cu halogen, fluorescente compacte de puteri variate sau tip LED de culoare aparentă caldă. Comanda lor trebuie realizată cu aparate de reglare fină a fluxului, pentru a realiza nivelul de iluminare dorit.

Camerele de dormit trebuie prevăzute cu sisteme de iluminat care să realizeze o atmosferă odihnitoare, fără umbre și contraste, cu o componentă mare a fluxului luminos superior (semiindirect și indirect pentru încăperile destinate oamenilor maturi și în vârstă și direct-indirect sau semidirect, pentru cele destinate copiilor și tineretului). În general, utilizarea aplicelor montate pe pereți, (fig. I.11.3, notată cu E la camera de dormit 2a) cu distribuție semiindirectă sau indirectă a fluxului reprezintă o soluție superioară celei prevăzute în camera de dormit 2b (pentru copii) cu un AIL plat (plafonieră) montat în centrul încăperii. AIL de noptieră (veioză) F pot fi utilizate pentru iluminatul local pentru citit. Pentru oglinda toaletei se impune, de asemenea, un iluminat local pentru machiaj, realizat cu AIL ce poate fi cu surse incandescente cu halogen sau fluorescente alb cald, special de lux ($Ra \approx 90$). În camera copiilor, la mese-pupitre de lucru, este necesar un iluminat local mobil F cu sursă incandescentă cu halogen sau fluorescentă de culoare aparentă caldă și cu foarte bună redare a culorilor. Un sistem simplu și economic se realizează prin aplice (fixe), montate la o înălțime mică (1,0...1,6 m), deasupra noptierelor. Acestea vor avea o distribuție direct-indirect a fluxului luminos. Soluția poate înlocui eficient și estetic veiozele clasice. O soluție bifuncțională, cu aplică echipată cu două surse (fig. I.11.5): una jos (pentru citit) și una sus (pentru ambianță), cu comandă separată, reprezintă o rezolvare estetică și eficientă a iluminatului unui dormitor mic. Pentru dormitoare mari se poate prevedea un iluminat suplimentar localizat (AIL înglobate) în zona șifonierelor și la toaletă.

În camera de baie sau duș, iluminatul general este localizat, de regulă, la oglindă, pentru încăperi mici (sub. 6 m^2), uniformitatea fiind satisfăcătoare (fig. I.11.6). La băile mari sistemul se completează și cu un iluminat general. Sursele de lumină indicate sunt cele de culoare aparentă caldă, cu un indice

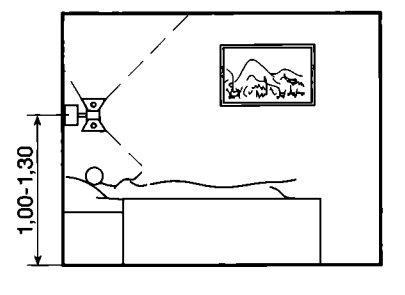


Fig. I.11.5. SIL direct-indirect pentru dormitor.

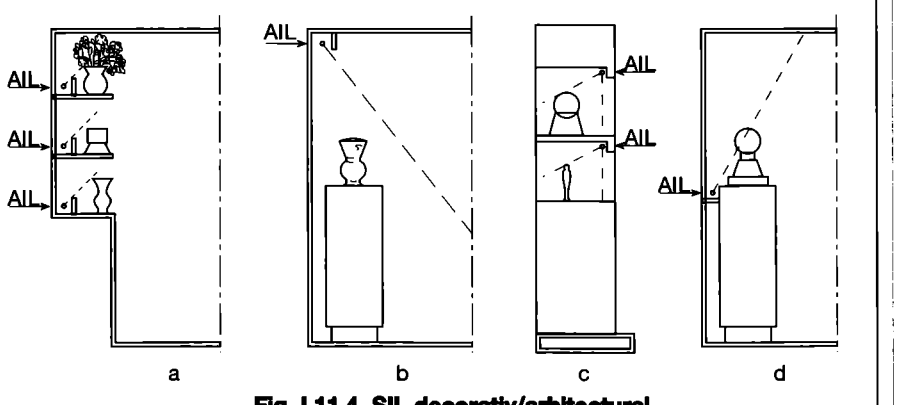


Fig. I.11.4. SIL decorativ/arhitectural.

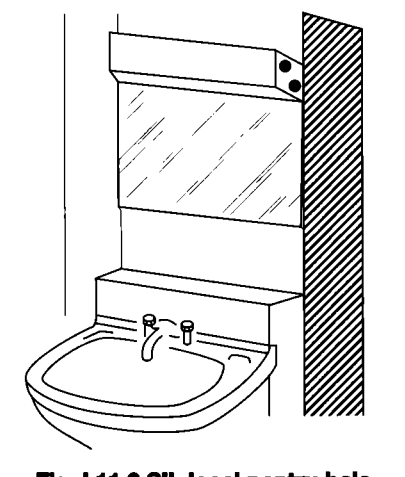


Fig. I.11.6 SIL local pentru bale.

de redare a culorilor *Ra > 85*.

În bucătărie, se recomandă un sistem de iluminat combinat (general+local, în zonele de interes) cu lămpi fluorescente de culoare aparentă caldă, cu un indice de redare a culorilor *Ra>85*. În fig. I.11.3 s-a prevăzut un iluminat general realizat cu aplice fluorescente ce pot fi înglobate în mobilier.

Pe coridoare și holuri, se utilizează aplice decorative sau funcționale cu surse incandescente cu halogen, fluorescente compacte de culoare aparentă caldă, sau LED-uri.

În cămări și debarale, se prevăd aplice funcționale cu lămpi cu incandescență.

De asemenea, balcoanele, terasele și logiile pot fi iluminate în funcție de dimensiunile lor și dorințele utilizatorului. Se folosesc fie AIL funcționale pentru cele mici, fie și decorative pentru cele mari.

Părțile comune ale blocurilor de locuințe (scări, holuri ș.a.) pot fi iluminate utilizând AIL funcționale cu LIH sau LEDuri de culoare aparentă caldă datorită comenzilor frecvente. În mod obișnuit, pe scările blocurilor de locuințe se utilizează 2 AIL: unul pentru iluminatul normal și altul pentru evacuare.

• Sisteme de iluminat pentru hoteluri și moteluri

În camerele de cazare, SIL trebuie să asigure un ambient luminos plăcut, atractiv și odihnitor (culoare caldă a surselor și a suprafețelor reflectante). Pentru hoteluri, SIL va fi mai pretențios și cu mai multe posibilități funcționale și estetice, în funcție de gradul de confort al acestora. La moteluri, SIL vor fi mai simple și economice.

În fig. I.11.7 este prezentat un SIL pentru o structură standard de hotel de 2 sau 3 stele, format din:

A - aplice decorative cu distribuția fluxului semiindirectă, direct-indirect sau semidirectă, pentru SIL general de ambianță;

B - aplice pentru iluminatul local de noptieră montate ca în fig. I.11.5 (pot fi utilizate și veioze mobile care au însă dezavantajul că pot fi lovite și degradate);

C - SIL local al toaletei, care poate fi realizat cu surse cu incandescență cu halogen sau fluorescente de culoare aparentă caldă cu indicele *Ra>85*;

D - SIL local mobil în zona de scris, citit sau relaxare, realizat cu lampadar mobil;

E - iluminat de efect la fereastră, realizat cu lămpi fluorescente de culoare aparentă caldă, care poate fi utilizat ca iluminat general, caz în care se poate renunța la aplicele A;

F - SIL general localizat fluorescent în camera de baie;

G - SIL realizat cu o plafonieră.

Din aceste posibilități, în funcție de gradul de confort (categoria hotelului), se aleg sistemele necesare. De exemplu, la un hotel de o stea sau la moteluri, se poate utiliza SIL realizat numai cu aplicele B.

Holul principal, unde se amplasează și recepția hotelului, trebuie echipat cu un sistem de iluminat general de ambianță, de nivel acceptabil, și cu iluminatul localizat al zonei de recepție, schimb valutar, shop, la nivelurile mai ridicate menționate anterior (fig. I.11.8).

Holurile hotelurilor sunt, de regulă, mari, ample, completate cu foaiere, zone de așteptare, zone de vizită, discuții, de citit sau scris. La un hotel de categoria 2 sau 3 stele se recomandă ca SIL general să aibă distribuție nesimetrică a amplasamentului. O bandă luminoasă, în zona perdelelor, poate creea un efect ambiental plăcut și un echilibru al luminanțelor.

Pentru un grad de confort mai ridicat se recomandă utilizarea sistemelor direct-indirect, de iluminat fluorescent și incandescent cu halogen sau cu lămpi tip LED de culoare aparentă caldă, cu surse punctuale sau spoturi. Spoturile pun în evidență aspecte estetice, cum ar fi o pictură, elemente de relief (modelare) și culoare ale peretelui sau ale altor obiective, plante sau flori. Pentru aceleași zone se utilizează uneori și lampadare mobile sau AIL mobile de masă, care, de asemenea, realizează o ambianță caldă sau plăcută.

Intrarea în hotel se recomandă a fi bine iluminată, pentru a atenționa plăcut pe vizitator. Astfel, se poate realiza un iluminat fluorescent montat pe copertina sau portalul intrării, la un nivel de 50 - 100 lx, completat cu o firmă luminoasă sau luminată atractiv. De asemenea, locurile de parcare se cer iluminate uniform și estetic, la un nivel de 10 - 20 lx, în funcție de prevederile normelor. Coridoarele de acces în camerele de cazare trebuie prevăzute cu sisteme de iluminat care să asigure ambianța plăcută și de securitate, trebuie echipate cu cel puțin 2 surse care să asigure împreună 100 - 150 lx, ziua - seara și, separat, una, pentru 20 lx, noaptea. Aceasta se poate obține cu un AIL special cu o sursă fluorescentă normală și una compactă (soluția optimă pentru funcționalitate și economie), cu posibilitatea de comandă separată. În cazul în care nu se dispune de acest AIL special, conectarea pe circuite separate este o soluție acceptabilă (de exemplu, iluminatul normal și de evacuare asigură aproximativ 100 - 150 lx, iar iluminatul de evacuare singur, aproximativ 20 lx).

În incinta sau vecinătatea hotelurilor și motelurilor se prevăd totdeauna restaurante care se tratează diferențiat ca echipare, în funcție de categoria hotelului. Sistemele de iluminat trebuie să asigure niveluri de iluminare diferite pentru zi și seară. Se recomandă utilizarea surselor fluorescente pentru hotelurile de 1 sau 2 stele și a surselor cu incandescență cu halogen (în spoturi) pentru un confort mai ridicat. Suprafața meselor va fi luminată cu surse fixe (mai rar, mobile) alese astfel încât să se afle în concordanță cu arhitectura sălii.

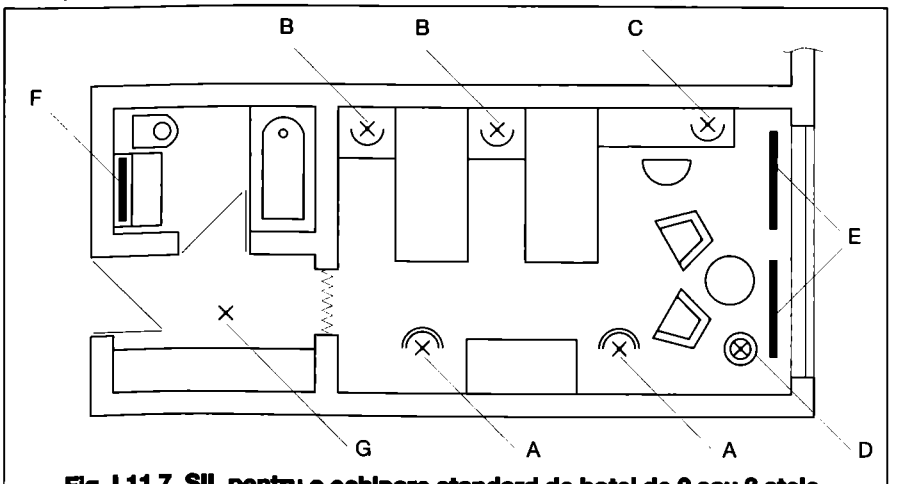


Fig. I.11.7. SIL pentru o echipare standard de hotel de 2 sau 3 stele.

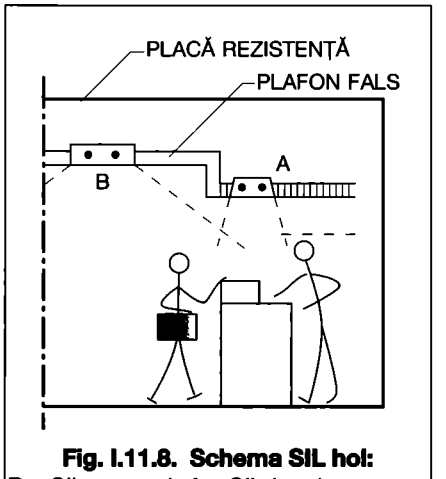


Fig. I.11.8. Schema SIL hol:
B - SIL general; A - SIL local.

Pentru baruri, iluminatul trebuie să fie discret (cu spoturi ascunse) pentru realizarea ambianței corespunzătoare.

În restaurante, baruri, discoteci, unde se dansează, se pot utiliza, cu succes, în zona ringului, suprafețe luminoase colorate (pereții luminoși).

11.2.2. Încăperi destinate activității intelectuale

Din această categorie fac parte birourile de toate tipurile, inclusiv cele bancare, săli de reuniuni, săli de învățământ, biblioteci, laboratoare de cercetare ș.a.

Aceste spații se caracterizează prin următoarele aspecte comune:
- același tip de sarcini vizuale (scris, citit, desenat) cu excepția laboratoarelor, unde intervin și sarcini specifice;
- activitatea se desfășoară atât în plan orizontal (mese, planșete, birouri ș.a.) la o înălțime aproximativ constantă (0,75...0,9 m de la nivelul pardoselii), cât și în plan vertical atunci când sunt utilizate calculatoarele;
- plafonul și pereții sunt de culori deschise, puțin saturate, cu reflectanță mare;
- înălțimea încăperii este, în general, constantă (în medie 3,00 m), cu excepția sălilor de învățământ mari.

Pe baza acestor aspecte comune se pot stabili și sisteme de iluminat care să asigure exigențele mediului luminos confortabil.

• Aspecte cantitative

Nivelurile de iluminare se înscriu, în conformitate cu prevederile codului CIE, în domeniul 300 - 500 - 750 lx cu observațiile indicate la tabelul I.11.3.

Distribuția fluxului luminos se caracterizează prin prevederea, în toate cazurile, a unei componente de flux superior al cărei efect constă în ridicarea confortului din punct de vedere al distribuției echilibrate a luminanțelor. De aceea distribuția semidirectă și cea mixtă a fluxului luminos sunt cele indicate.

Pentru încăperile în care se lucrează cu calculatoare, distribuția indirectă este recomandată pentru evitarea reflexiei de voal parazitare pe ecranul calculatoarelor. În general, această condiție este greu de acceptat deoarece costul aparatelor de iluminat crește mult. De cele mai multe ori sunt utilizate aparate cu o distribuție semidirectă sau direct-indirect, dar cu suprafețe luminoase difuzante. Totodată, ecranul calculatorului este astfel orientat încât, din poziția sa, operatorul să nu perceapă luminanțe de voal, supărătoare.

Pentru încăperile cu sarcini vizuale obișnuite, dar și calculator, trebuie asigurată posibilitatea comenzilor separate ale componentelor iluminatului:
1 - direct;
2 - indirect;
3 - direct-indirect, în funcție de sarcina vizuală și necesitățile beneficiarilor.

• Aspecte calitative

Distribuția luminanțelor în câmpul vizual și pe suprafața de lucru sunt extrem de importante în aceste încăperi pentru evitarea atât a orbirii fiziologice, cât și a celei psihologice.

Evitarea *orbirii directe* se realizează utilizând aparate de iluminat de luminanță scăzută, echipate cu grătare, panouri sau alte sisteme difuzante, impuse de înălțimea redusă de montare.

Evitarea *orbirii psihologice* determinată de luminanța sursă-plafon, de la periferia câmpului vizual, este posibilă prin alegerea unor aparate cu distribuția direct-indirect a fluxului.

Soluția optimă din punctul de vedere al echilibrului luminanțelor, respectiv, confortului vizual, este ca luminanța plafonului să fie egală cu luminanța planului util.

Echilibrul luminanțelor se obține prin eliminarea efectului de „grotă neagră" al ferestrelor în timpul serii (nopții), prin utilizarea jaluzelelor reglabile sau a draperiilor de culoare și reflectanță apropiată cu a pereților.

Pentru birourile adânci este necesară compensarea distribuției neuniforme a luminanței din timpul zilei prin utilizarea permanentă a iluminatului electric în zona opusă ferestrelor.

Evitarea *orbirii reflectate* produse de suprafețele din zona de lucru (utilă) se realizează, la birourile obișnuite și sălile de învățământ, prin orientarea șirurilor de aparate de iluminat paralel cu direcția vederii (DV), așa cum se poate urmări și în fig. I.11.9.

Acest aranjament poate fi realizat numai în cazul în care mobilierul este fix. În conformitate cu Ghidul CIE, uniformitatea generală, recomandată pentru întreaga suprafață utilă, este $E_{min}/E_m \geq 0,8$.

Dacă se utilizează un iluminat combinat, iluminarea minimă nu trebuie să fie mai mică de 50 % din cea medie, dar cel puțin 300 lx.

Pentru evitarea *orbirii psihologice* este necesar ca în încăperile adiacente (de trecere) nivelul de iluminare să nu fie mai mic de 1:5, dar cel puțin 150 lx.

De asemenea în câmpul vizual central și periferic, valoarea raportului luminanțelor (maxim/minim) trebuie să se afle între 3:1 și, respectiv, 10:1. Cu cât uniformitatea este mai bună cu atât și confortul este mai ridicat.

Confortul este cu atât mai mare cu cât contrastul dintre luminanțele aparatului de iluminat și plafonului este mai mic.

De asemenea, reflectanțele trebuie să fie crescătoare de la pardoseală *(0,2...0,3)* la pereți *(0,5...0,7)* și plafon ($\rho \geq 0,7$). Pentru mobilier se recomandă în general 0,4...0,5 și pentru jaluzele/draperii 0,5...0,7.

Culoarea luminii. Deoarece în majoritatea acestor încăperi nu se pun probleme speciale de redare a culorilor, ci numai de ambianță plăcută, se preferă

Tabelul I.11.3. Niveluri de iluminare (conf. normelor CIE).

Tipul încăperii	Nivel de iluminare [lx]
Birouri	500
Săli de reuniuni/conferințe	300 (variabil)
Săli de învățământ	500
Săli proiectare	500
Laboratoare (funcție de sarcina vizuală)	minim 500
Biblioteci	300

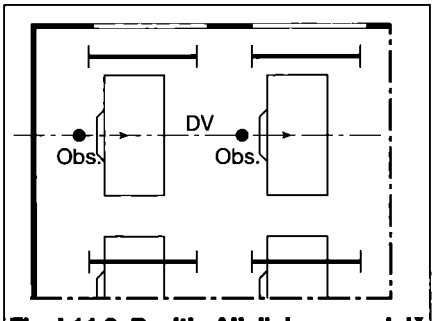


Fig. I.11.9. Poziția AIL liniare paralelă cu direcția vederii (DV) observatorilor (Obs.)

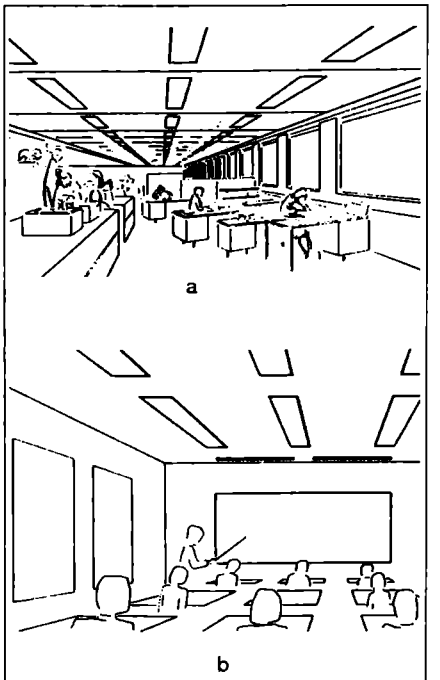


Fig. I.11.10. Structura unui SIL general uniform distribuit pentru: *a - un birou (proiectare) mare; b - o sală de învățământ cu mobilier mobil.*

lămpile fluorescente de culoare albă, cu eficacitatea luminoasă mare, de culoare aparentă neutră și care oferă o redare a culorilor acceptabilă, spre medie.

Pentru birourile vitrate culoarea aparentă va fi neutră sau neutră-rece, iar pentru cele nevitrate se recomandă culoarea caldă/neutră-caldă.

În cazurile în care este necesară redarea corectă a culorilor (laboratoare, ateliere de arhitectură etc.) se utilizează lămpi cu indicele de redare $Ra \geq 85$.

Atenție trebuie acordată și culorilor suprafețelor reflectante ambientale (pereți, plafon, pardoseală) care trebuie alese astfel încât să se armonizeze cu culoarea aparentă a surselor și având valorile reflectanților indicate mai înainte.

Modelarea și direcționarea luminii pentru sarcinile vizuale obișnuite se realizează prin șiruri paralele cu direcția razei vizuale (de privire).

• Caracteristicile sistemelor de iluminat pentru încăperile destinate activității intelectuale

În general, pentru încăperile destinate activităților intelectuale sunt indicate sistemele de iluminat general uniform distribuit sau general localizat asimetric, dirijat, și uneori general asimetric.

Sistemul de iluminat general, uniform distribuit este recomandat în încăperile mari și în cele în care mobilierul nu este fix sau în care amplasarea este dictată de considerente tehnologice (laboratoare de fizică sau chimie la care nu se păstrează paralelismul dintre planul ferestrelor și raza vizuală).

În fig. I.11.10 a, se poate urmări un exemplu de amplasare a sistemului de iluminat într-o încăpere mare, destinată unui atelier de proiectare, în care s-au utilizat șiruri de aparate de iluminat paralele. Montarea aparatelor de iluminat se realizează ținând seama de tipul plafonului, astfel, dacă:

- grinzile sunt aparente, se montează aparate de iluminat aparente între grinzi;
- există plafon fals, aparatele de iluminat se montează aparent sau semiîngropat (tot între grinzi), eventual integrate într-un sistem de încălzire-ventilare-acustică.

Sistemul de iluminat combinat (general uniform distribuit și local) este mai favorabil din punct de vedere economic și funcțional, în special, în încăperile mari în care sarcinile vizuale sunt diferite (laboratoare).

În cazul unei săli de învățământ în care mobilierul nu este fix, se recomandă amplasarea uniform distribuită (fig. I.11.10 b). Trebuie asigurat și iluminatul local al tablei cu aparate cu distribuția asimetrică.

Sistemul de iluminat general localizat și asimetric dirijat corespunde unor încăperi (ca sălile de clasă sau birouri și ateliere de proiectare) la care amplasarea mobilierului poate fi făcută în funcție de poziția aparatelor de iluminat.

Avantajele sistemelor de iluminat general asimetric dirijat au fost indicate în capitolul 6.

În fig. I.11.11 se poate urmări în secțiune transversală modul în care se pot echilibra iluminările (respectiv luminanțele) în cazul în care iluminatul natural nu este satisfăcător decât pentru primul șir de bănci. Punând în funcțiune (manual sau automat) șirul y se obține o echilibrare substanțială, iluminările minime fiind înregistrate în zona de circulație, neinteresantă pentru sarcina vizuală curentă.

În fig. I.11.12 a este pus în evidență contrastul (modelarea dură) realizat de efectul iluminării naturale E_n și diminuarea lui prin punerea în funcțiune a sursei de lumină interioară y (fig. I.11.12 b).

Pentru încăperile de dimensiuni mici și medii destinate atelierelor de proiectare și birourilor de diferite destinații, poate fi aplicat același sistem de iluminat general asimetric dirijat, numărul de șiruri fiind determinat de adâncimea încăperii (d). Astfel, orientativ, pentru calculele preliminare se poate ține seama de următoarele recomandări, în funcție de „d" și de înălțimea încăperii „h":

- $d < 1{,}5\ h$, este necesar un șir;
- $1{,}5\ h \leq d < 2{,}5\ h$, sunt necesare două șiruri;
- $d \geq 2{,}5\ h$, sunt necesare trei șiruri, unde h este înălțimea încăperii.

Sălile de cursuri, mari, construite în amfiteatru, de conferințe și a altor activități similare se prevăd, în mod obișnuit, cu un iluminat general uniform distribuit ce trebuie să fie atât funcțional cât și estetic. Aceasta va rezulta în urma unei strânse colaborări cu arhitectul proiectului.

De asemenea, trebuie îndeplinite următoarele condiții specifice acestor destinații:

- un iluminat suplimentar al tablei și catedrei la sălile de conferințe, ultimul necesar desfășurării unor experimente demonstrative;
- un iluminat suplimentar al zonei prezidiului la sălile de ședință și/sau festivități;
- comandă centralizată a iluminatului, de la catedră/masă centrală, cu posibilități de reglare în trepte sau fin a nivelului de iluminare (necesar proiecției de filme, diapozitive etc.).

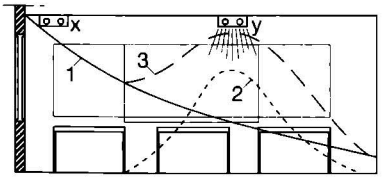


Fig. I.11.11. Secțiune într-o sală de clasă:
1 - variația iluminării E_n naturale; 2 - variația iluminării E_y dată de șirul luminos y; 3 - suma iliminărilor (E_y+E_n).

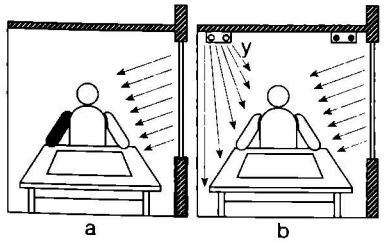


Fig. I.11.12. Diminuarea contrastului de luminanță:
a - numai E_n; b - E_n+E_y (artificială).

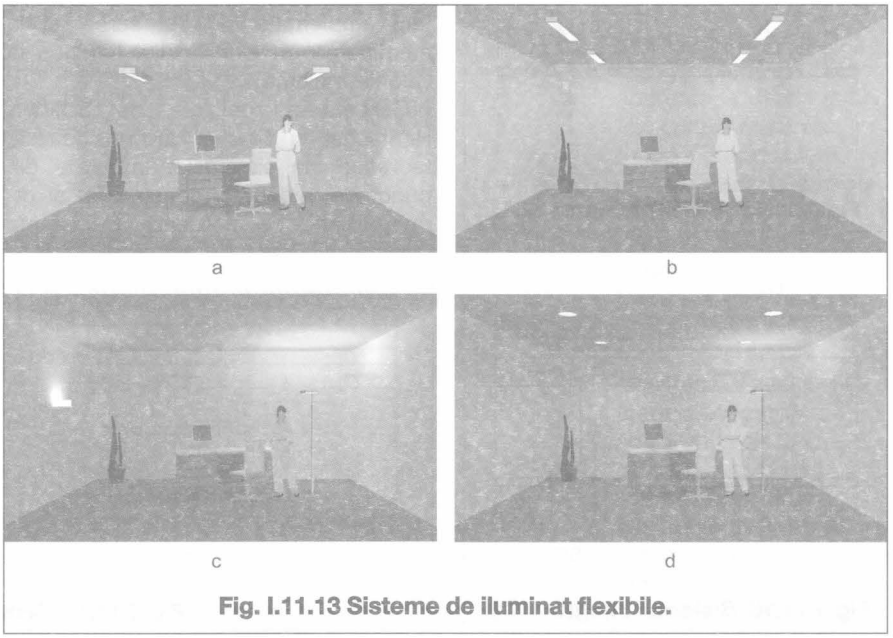


Fig. I.11.13 Sisteme de iluminat flexibile.

Această comandă este indicat să se facă de la un mic pupitru montat pe catedră. De la acesta trebuie să poată fi acționată ecranarea ferestrelor, în timpul zilei etc.

Sălile de cursuri nevitrate prezintă avantaje funcționale și de iluminat deosebite, dar au dezavantajul că sunt neeconomice din punctul de vedere al consumului de energie electrică.

Pentru încăperile destinate avizărilor, reuniunilor și altor activități similare, sistemele de iluminat vor fi proiectate în aceeași concepție ca și cele destinate sălilor de conferințe. Suplimentar se va realiza iluminatul planului de expunere, reglarea fluxului luminos, posibilitatea ecranării ferestrelor etc.).

• Sisteme de iluminat flexibile

Necesitatea permanentă de adaptare la nou, impune realizarea unor sisteme de iluminat și instalații electrice flexibile care să respecte astfel de cerințe noi, în timp și spațiu.

Soluțiile amintite, care utilizează iluminatul direct-indirect cu comandă separată, reprezintă una din variantele cele mai bune. În fig. I.11.13 a, se poate urmări o astfel de soluție cu aparate de iluminat suspendate, iar în fig. I.11.13 b, o soluție cu aparate de iluminat montate la plafon.

Un grad mai mare de flexibilitate se obține când una dintre componente este mobilă (fig. I.11.13 c și d) - de exemplu, un lampadar mobil cu distribuție indirectă a fluxului și cu sursă MH.

O soluție deosebită se poate realiza cu structuri spațiale suspendate care sunt mai adaptabile la modificări dar mai puțin estetice. În figura I.1.14 este prezentat un astfel de sistem de iluminat indirect pentru un birou cu calculatoare.

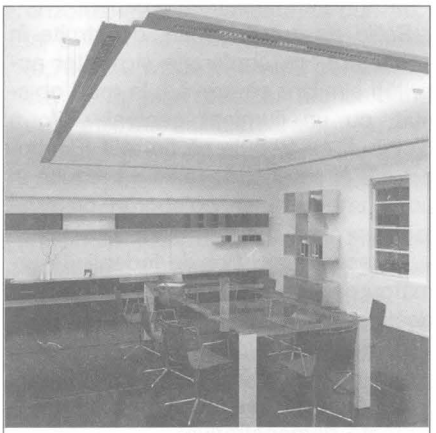


Fig. I.11.14 Sistem de iluminat indirect pentru un birou prevăzut cu calculatoare.

Sistemele flexibile permit modificări ale geometriei aparatului, orientări ușoare în spațiu și chiar ale poziției sursei în interiorul aparatului, modificând astfel mult distribuția fluxului.

• Sisteme integrate de iluminat cu instalații de climatizare și acustice

Clădirile moderne, prevăzute cu sisteme de climatizare și izolație fonică adecvată destinației, pot avea sistemele de iluminat integrate în acestea pentru că, funcțional, avantajele tehnice și economice sunt deosebite.

În sistemele integrate, aerul este evacuat prin aparatul de iluminat pentru a realiza controlul și utilizarea sarcinii termice produse de iluminat. Aceasta conduce la reducerea temperaturii sursei și aparatului de iluminat, la micșorarea radiațiilor termice ale acestora către ocupanți, la reducerea temperaturii ambientale în jurul sursei și la menținerea emisiei fluxului luminos la valorile maxime.

Cercetările realizate de Söllner, Hentschel și Fischer au pus bazele teoretice ale sistemelor integrate din punct de vedere al construcției și dimensionării. Se utilizează 3 sisteme (SC_1, SC_2 și SC_3), diferite prin modul de vehiculare a aerului tratat și viciat, având însă ca factor comun evacuarea prin aparatul de iluminat.

Sistemul SC_1 (evacuare prin cavitatea etanșă între plafonul de rezistență și plafonul fals fonoabsorbant). Distribuția aerului tratat se realizează prin canale în plafonul dublu, iar evacuarea prin aparatele de iluminat, direct în cavitatea plafonului dublu aflat în depresiune (fig. I.11.15).

Dezavantajul principal al sistemului constă în imposibilitatea realizării etanșării perfecte a cavității plafonului, care va provoca intrarea de aer „fals", dereglând sistemul și murdărind orificiile de trecere. Un alt dezavantaj este transferul de căldură (Q_c) către încăpere, (Q'_c) către încăperea de sus și (Q''_c) către aerul preparat din canal, ceea ce reprezintă, de asemenea, o dereglare a echilibrului termic dorit și consum suplimentar de energie.

Avantajul sistemului este acela că necesită o investiție redusă, prin eliminarea canalelor de evacuare și pieselor speciale care sunt necesare la racordarea cu canalul colector. Sistemul este recomandat în cazul în care numărul de schimburi orare de aer este mai mic decât 8.

Sistemul SC_2 (introducere prin cavitatea plafonului dublu)

Distribuția aerului tratat se realizează prin cavitatea plafonului dublu care se află în suprapresiune, iar evacuarea printr-un sistem de canale (fig. I.11.16). Aerul tratat pătrunde în încăpere datorită suprapresiunii prin plafonul fals cu perforații sau benzi de difuzie a aerului, iar aerul viciat este extras prin aparatele de iluminat speciale, racordate la rețeaua de canale de evacuare.

Dezavantajele sistemului sunt: distribuția neuniformă a aerului în cavitate provoacă o distribuție similară a aerului introdus prin plafonul perforat și transferul de căldură de la aerul evacuat (Q_c), aerului din încăpere (Q'_c) și aerului din încăperea de la etaj (Q''_c), ceea ce constituie elemente perturbatoare, de consum suplimentar de energie. Acesta poate fi diminuat, parțial, prin izolarea

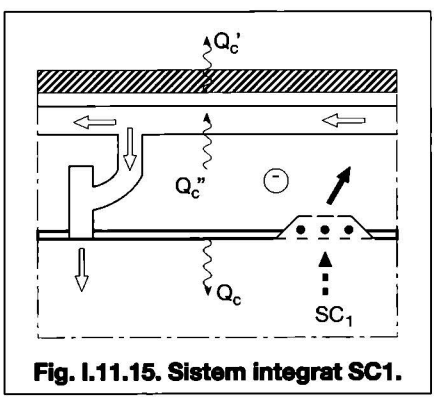


Fig. I.11.15. Sistem integrat SC1.

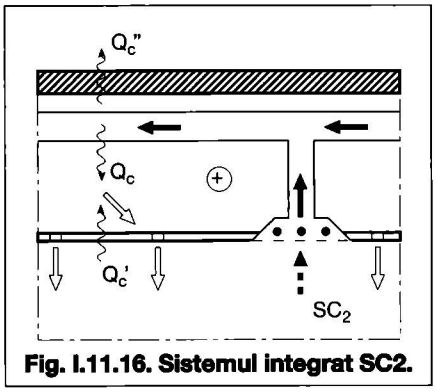


Fig. I.11.16. Sistemul integrat SC2.

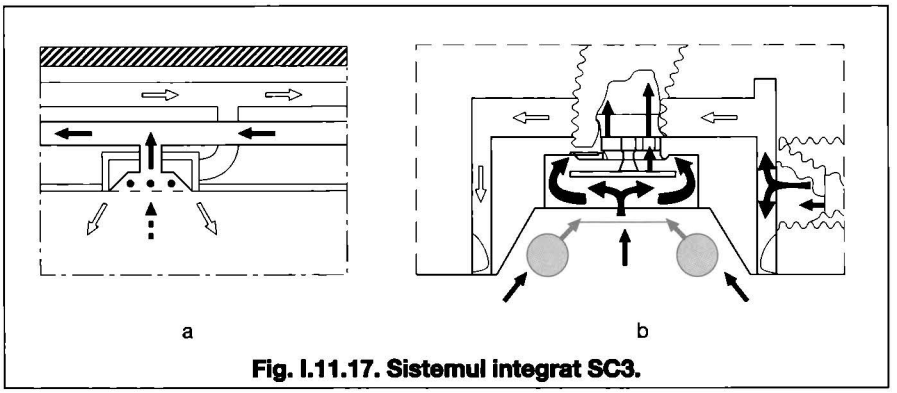


Fig. I.11.17. Sistemul integrat SC3.

canalelor de evacuare (reducerea lui Q_c).

Avantajele sistemului sunt investiția redusă în canale prin utilizarea cavității pentru introducere și reducerea radiației plafonului fals prin răcirea sa de către aerul tratat. Sistemul SC_2 este recomandat când înălțimea de la pardoseală la plafon fals este redusă (2,50...2,80 m).

Sistemul SC_3 (cu dublă canalizare) Distribuția aerului se realizează prin două sisteme de canale de aer preparat și aer viciat, introducerea realizându-se prin fante (eventual, apropiate de aparatul de iluminat) și evacuarea prin aparatele de iluminat (fig. I.11.17 a, b).

Dezavantajul sistemului constă în investiția suplimentară în dubla canalizare pentru aer.

Avantajele sistemului sunt păstrarea permanentă a parametrilor aerului preparat și viciat, înlăturarea dificultăților cerute de o cavitate etanșă, controlul eficient al sarcinii termice și întreținerea mai simplă.

În concluzie, sistemul de iluminat integrat este economic din punctul de vedere al reducerii consumului energetic (conduce la o scădere a puterii instalate pentru iluminat de 10...15 %) fiind, de asemenea, confortabil și estetic. Dezavantajul luminotehnic se manifestă prin creșterea gradului de inconfort determinat de necesitatea încastrării AIL în plafonul fals și accentuarea contrastului aparat de iluminat-plafon, care determină o posibilă orbire psihologică.

11.2.3. Spațiil comerciale

Sistemul de iluminat are un rol foarte important în relația dintre client și magazin. Un sistem de iluminat ales corect scoate în evidență caracterul unui anumit magazin, adică îl individualizează în raport cu celelalte magazine.

De asemenea, printr-o așezare judicioasă a aparatelor de iluminat, acesta contribuie și la orientarea cumpărătorilor în interiorul magazinului.

• Aspecte cantitative

Alegerea unui nivel de iluminare corect este o cerință necesară atât pentru personalul magazinului cât și pentru cumpărători.

Atunci când este prezent și iluminatul de accent, nivelul de iluminare produs de iluminatul general trebuie să fie ceva mai scăzut decât cel recomandat, pentru că iluminatul de accent produce, local, niveluri ridicate ale iluminării, care contribuie la punerea în evidență a exponatelor. Un iluminat general puternic ar limita posibilitatea de creare a accentelor de lumină.

Nivelul de iluminare variază în funcție de destinația magazinului. Pe plan internațional, el variază între 300 și 750 lx pentru iluminatul general, între 500 și 2000 lx pentru vitrine și între 3000 și 10000 lx pentru accente punctuale.

Valori spre limita superioară se aleg la iluminatul unor exponate de reflectanță mică (ρ = 0,3), pentru realizarea unor luminanțe acceptabile.

Distribuția fluxului luminos indicată pentru magazinele de înălțime mică sau medie este cea semidirectă pentru a obține și o bună echilibrare a luminanțelor; pentru magazinele cu înălțime mare se preferă o distribuție directă.

Pentru vitrine este indicată distribuția directă realizată de un plafon luminos sau de surse mascate privirii observatorilor. De cele mai multe ori sunt necesare și completări locale de accentuare pentru exponatele din vitrine.

• Aspecte calitative

În incinta magazinelor mari, distribuția luminanțelor trebuie să fie uniformă, fără a fi însă cerința de bază, important fiind efectul vizual.

În majoritatea cazurilor, se recomandă contrastele de lumină și/sau culoare pentru a atrage atenția cumpărătorilor, mai ales dacă aceștia nu stau un timp prea îndelungat în magazin.

În tabelul I.11.4 sunt indicați factorii de accent (nivel de iluminare local raportat la nivelul de iluminare general) în conexiune cu efectele produse de modelare/reliefare.

În magazinele mici, fără exponate care să pretindă condiții speciale, este suficientă o iluminare uniformă.

Tabelul I. 11.4. Factorii de accent în conexiune cu efectele produse de accentuare (modelare)

Factor de accent (contrast)	Efectul produs
1:1	Nu există accent
2:1	Accent perceptibil
5:1	Puțin teatral
15:1	Teatral
30:1	Dramatic
>50:1	Foarte dramatic

Tabelul I.11.5. Tipuri de surse de lumină utilizate în iluminatul general și iluminatul de accent al magazinelor

Tipul lămpii	Iluminat		Caracteristicile lămpilor
	general	de accent	
Descărcări în vapori de sodiu de înaltă presiune („sodiu alb" - „SON - White", „SDW" -T - PHILIPS)	DA	DA	Ambianță caldă, durată mare de funcționare, redare bună a culorilor
„Descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune cu halogenuri metalice („MH") cu *Ra* bun și foarte bun	DA	DA	Ambianță neutră, durată foarte mare de funcționare, redare bună a culorilor, consum mic de energie electrică
Incandescentă cu reflector *)	NU	DA	Redare excelentă a culorilor, durată mică de funcționare, consum ridicat de energie electrică
Incandescentă cu halogen *)	DA	DA	Redare excelentă a culorilor, durată mai mare de funcționare decât la ultimile două tipuri
Fluorescentă tubulară convențională	DA	NU	O largă gamă de culori aparente la diferiți indici *Ra*, durată mare de funcționare, consum relativ redus de energie electrică
Fluorescentă compactă *)	DA	NU	Idem LF tubulară, culori calde
LED *) cu condiția unei culori aparente calde sau neutre-calde și a unui indice *Ra > 80*	NU	DA	Durata foarte mare de funcționare, consum redus de energie electrică, dimensiuni foarte mici ce oferă soluții multiple de utilizare, posibilități variate de control electronic al fluxului emis și al culorii luminii

* Oferă prin dimensiunile mici posibilitatea unor sisteme variate și estetice.

- ***Culoarea aparentă a surselor de lumină***

Pentru magazine cu aport redus de lumină naturală este indicată utilizarea surselor de culoare aparentă caldă (cu temperatura de culoare în jurul valorii de 3000 K). Dacă există aport important de lumină naturală atunci este recomandată culoarea aparentă neutră sau neutră-rece (temperatura de culoare având valori maxime de 5000 K) pentru a realiza o bună integrare a culorilor.

- ***Redarea culorilor***

Pentru cele mai multe magazine, este indicat să se folosească lămpi cu proprietăți bune, foarte bune sau excelente de redare a culorilor. Aceasta, pentru că o lampă cu o valoare a indicelui *Ra* bună-foarte bună (80...85), dar cu o culoare aparentă caldă poate fi uneori mai potrivită pentru redarea culorii pielii și a altor obiecte colorate, imaginea fiind mai atractivă la lumina acestei lămpi decât la lumina zilei.

În tabelul I.11.5 sunt prezentate sursele de lumină recomandate pentru realizarea iluminatului general, precum și a iluminatului de accent în magazine.

- *Culoarea suprafețelor reflectante* trebuie să fie armonizată cu culoarea surselor. În mod obișnuit, culorile calde estompate sunt cele indicate, cu excepția zonelor în care se cere punerea în evidență a unor exponate și atenționarea cupărătorilor prin șoc de culoare (zone intens colorate, eventual utilizând o schemă contrastantă de culori).

- *Modelarea* exponatelor tridimensionale este foarte importantă atât în vitrinele interioare, cât și în cele exterioare. Obținerea unor contraste dure care să dea un aspect „dramatic" manechinelor expuse poate conduce la efecte deosebit de atractive, prin iluminatul de accent.

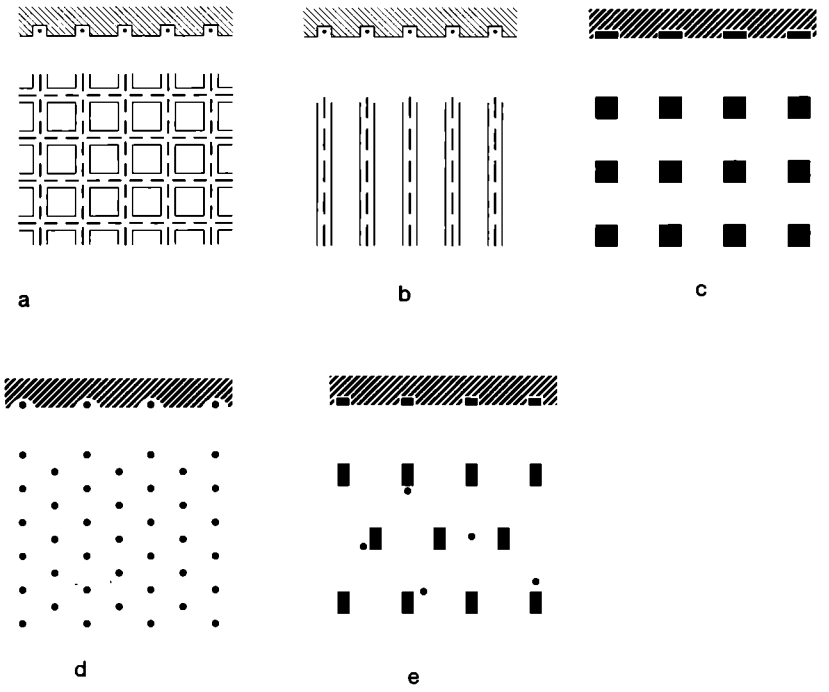


Fig. I.11.18. Sisteme de iluminat general uniform distribuit la magazine prevăzute cu plafon fals:
a - AIL fluorescente înglobate în plafon în structură pătrată;
b - idem, în structură liniară; c - panouri pătrate montate în structură simetrică;
d - AIL punctuale montate în eșichier; e - combinație între c și d.

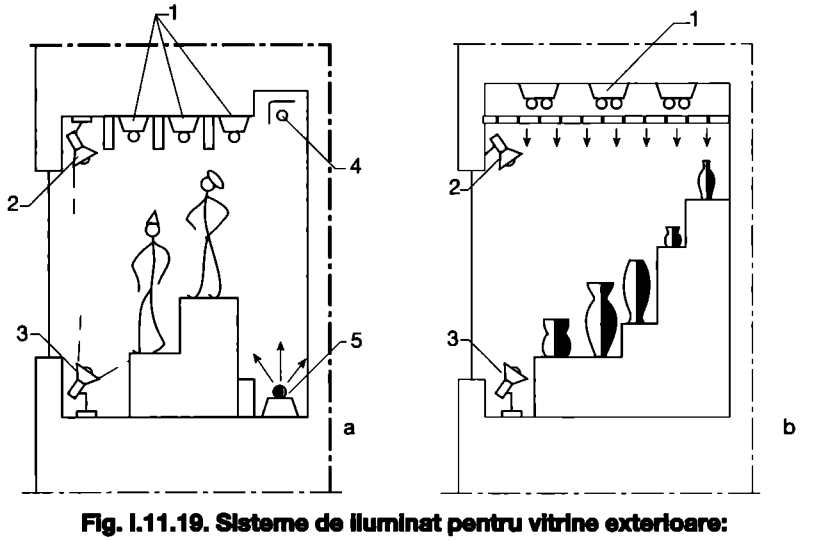


Fig. I.11.19. Sisteme de iluminat pentru vitrine exterioare:
a - SIL complet; b - SIL redus.

• Caracteristicile sistemelor de iluminat destinate spațiilor comerciale

Cerințele fundamentale pe care trebuie să le îndeplinească un sistem de iluminat al unui spațiu comercial sunt: atenționarea cumpărătorilor, crearea interesului, crearea unei ambianțe plăcute și atractive, ghidarea vizuală, integrarea în ansamblul ambiental al magazinului (care este o reflectare a strategiei de vânzare) și flexibilitatea sistemelor de iluminat în funcție de anotimpuri.

11.2.3.1 Sistemul de iluminat general

Ținând cont de aceste aspecte, dispunerea aparatelor de iluminat se realizează într-un mod ordonat, folosind, în mod special, surse fluorescente cu indice bun de redare a culorilor mai ales deasupra zonelor de interes deosebit, cum ar fi zona propriu-zisă de vânzare (fig. I.11.18)

În magazinele de lux se recomandă a se folosi amplasări simetrice, uniform distribuite utilizând aparate de iluminat punctuale cu lămpi incandescente cu halogen sau lămpi cu descărcări în vapori de înaltă presiune („SON - White" sau „MH").

Sistemele de iluminat moderne utilizează sisteme flexibile, adaptabile în timp și/sau spațiu la cerințele dinamice ale magazinelor. Astfel, structurile spațiale care înglobează atât distribuția electrică cât și aparatele de iluminat liniare sau punctuale orientabile (§ 5) reprezintă soluții moderne, chiar dacă aspectul estetic nu este cel mai favorabil (al structurii).

Se pot utiliza, în completare, sisteme de iluminat secundare, de accent, montate pe o șină de fixare. Aparatele de iluminat pot fi punctuale (spoturi) cu posibilități de orientare în spațiu.

11.2.3.2 Sistemul de iluminat pentru vitrine

De regulă, iluminatul unei vitrine cuprinde următoarele sisteme:
- general pentru o iluminare uniformă;
- de accent (de modelare);
- de fond.

Sistemul de iluminat de accent reprezintă o necesitate pentru punerea în evidență a produselor destinate vânzării, realizându-se astfel atragerea cumpărătorilor. El este destinat, în mod special, spațiilor de expunere a produselor din vitrină (atât interioară cât și exterioară). O condiție importantă a calității sistemului de iluminat de accent este mascarea sursei de lumină, față de ochiul observatorului, prin integrarea sa în mobilier sau în alte elemente de construcții.

În fig. I.11.19 se pot urmări componentele SIL pentru o vitrină exterioară:
1 - iluminat general;
2 - modelare/accent de sus;
3 - modelare/accent de jos;
4 - fundal de sus;
5 - fundal de jos.

Analizarea obiectivelor vizate în iluminatul de accent duce la necesitatea creării de contraste de lumină sau de culoare, contraste între produs și mediul înconjurător și contraste pe produse identice. Aceste contraste vor fi mai accentuate dacă există un iluminat general mai redus.

Prin creșterea sau descreșterea locală a nivelului de iluminare este posibil să se creeze efecte variate de lumini și umbre, cu contraste care sugerează dinamism. Se pot obține efecte dure, agresive, dramatice din combinarea luminilor și umbrelor.

Efectele speciale folosite în iluminatul de accent al magazinelor sunt, în funcție de specificul magazinului: formarea umbrelor, formarea petelor de lumină, reflexiile strălucitoare, efectele de contur, efectul de siluetă și altele.

O problemă deosebită de calitate, în cazul vitrinelor, este evitarea reflexiei supărătoare determinate de geamul vitrinei în timpul zilei. Aceasta se poate realiza prin menținerea în funcțiune a iluminatului artificial, în timpul zilei (neeconomic), fie prin schimbarea unghiului de reflexie (prin modificarea verticalității planului geamului vitrinei - în față sau în spate).

În fig. I.11.20 se prezintă soluția de evitare a reflexiei de voal ce poate apărea ziua:
a - soluție recomandată când acoperământul străzii are reflectanță mică și nu este iluminat direct de soare;
b - soluție recomandată când se folosește o copertină fixă de reflectanță scăzută (se pot utiliza și copertine mobile ce se strâng seara).

Vitrinele interioare și iluminatul de accent în locurile de expunere, urmăresc atenționarea (atragerea) clienților. În aceste cazuri este necesar ca sursa de lumină să nu fie ascunsă privirii.

În fig. I.11.21 este indicată o soluție de amplasare a aparatelor de iluminat cu LIH care pune în evidență exponate din cristal sau bijuterii, punându-se în valoare suprafețele mari reflectante și strălucitoare.

Efectele contrastante de siluetă reprezintă o soluție pentru a pune în evidență conturul exponatelor. Aceasta se poate realiza cu surse liniare mascate în spatele exponatelor ca în fig. I.11.22.

Un alt sistem de iluminat local poate fi urmărit în fig. I.11.23, folosit pentru accentuarea unor articole de îmbrăcăminte.

Spațiile comerciale se prevăd (în conformitate cu indicațiile de la § 6 și normativul I-7) cu sisteme de iluminat de evacuare, de marcare hidranți, de circulație și de pază/securitate.

Iluminatul de securitate se prevede atât la magazinele mici, cât și la cele mari sau foarte mari, utilizând fie o parte din sursele iluminatului general, fie surse specializate cu eficacitate mare (cu vapori de sodiu de joasă sau înaltă presiune). Comanda acestora se realizează din zone accesibile personalului de pază. Pot fi combinate și cu un sistem de supraveghere cu camere TV în circuit închis.

11.2.3.3 Firmele luminoase

Se montează, uzual, pe orizontală (la magazinele mici și medii), deasupra vitrinelor, și pe orizontală sau verticală, la

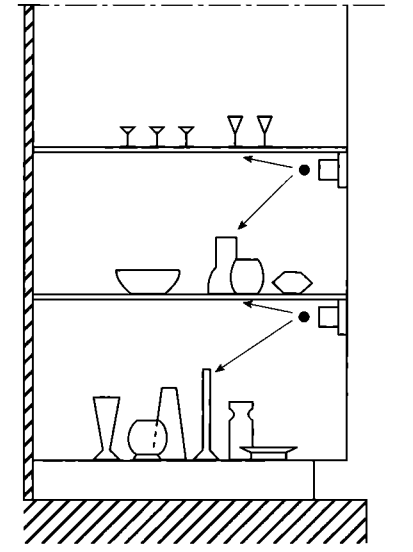


Fig. I.11.21. SIL local de accent.

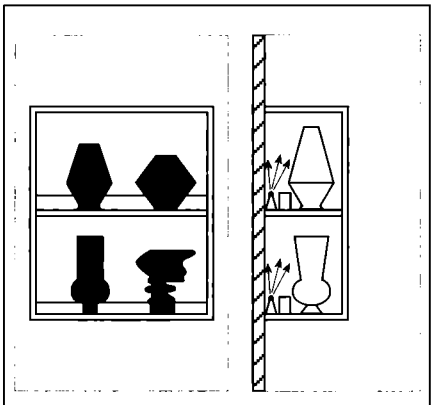


Fig. I.11.22. SIL local prin efect de siluetă.

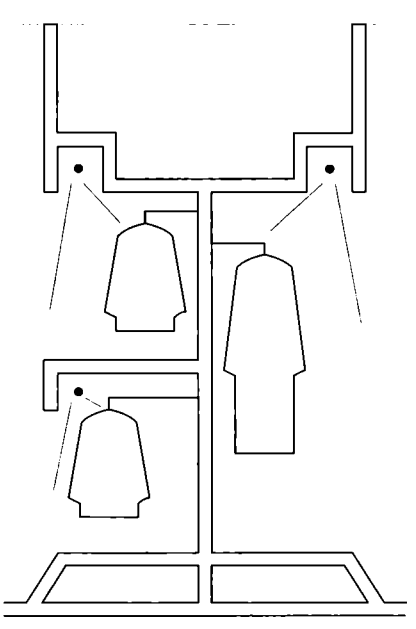


Fig. I.11.23. Sistem de iluminat local cu lămpi fluorescente tubulare înglobate în structura de expunere.

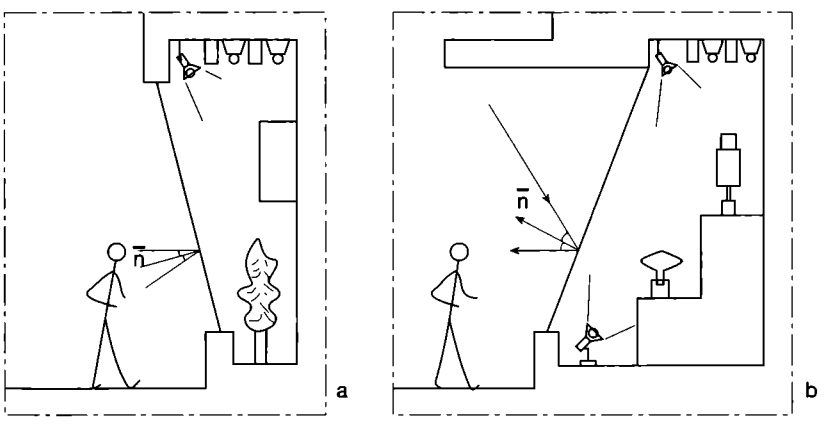


Fig. I.11.20. Amplasarea geamului vitrinei pentru evitarea reflexiei de voal.

magazinele mari cu mai multe niveluri.

Se folosesc firme luminoase din tuburi modelate cu descărcări în gaze (cu coloană pozitivă), care sunt estetice, vizibile şi se conectează, practic, instantaneu, dar au, în principal, dezavantajul funcţionării la o tensiune ridicată (ceea ce obligă la luarea unor măsuri suplimentare de protecţie).

Se mai pot folosi panouri luminoase care au marele avantaj al utilizării lămpilor fluorescente dar au şi dezavantajul că nu mai pot crea efecte la fel de spectaculoase. Se mai folosesc uneori şi panourile luminate (cu proiectoare).

Soluţii deosebite se pot obţine utilizând fibrele optice (decorative sau funcţionale), tuburile de lumină şi noile lămpi cu LED-uri.

11.2.4. Instituţii medicale

Cerinţele pe care trebuie să le îndeplinească sistemele de iluminat destinate instituţiilor medicale sunt foarte diferite după zonele din incinta instituţiei şi depind de condiţiile de vizibilitate pe care le necesită utilizatorii: pacienţi, personal auxiliar, medici.

În unele încăperi sunt determinante condiţiile impuse de consultaţia sau intervenţia chirurgicală (cabinete medicale şi săli de operaţie), iar în altele este determinant confortul bolnavului (saloane, rezerve).

• Aspecte cantitative

Nivelurile de iluminare sunt foarte diferite, în funcţie de destinaţia încăperii. Ele pot fi, de asemenea, reduse (seara, în saloanele pacienţilor) sau amplificate (în timpul consultaţiei medicale, în saloanele pacienţilor).

În tabelul I.11.6 sunt prezentate câteva din nivelurile de iluminare recomandate de CIE în funcţie de destinaţia spaţiului. De menţionat că ele se referă la aparatele de iluminat din clasele de calitate A şi B (§ 5). În camerele pentru consultaţii sau intervenţii se recomandă o distribuţie a fluxului luminos direct sau semidirect, spre deosebire de saloanele pacienţilor, unde este indicată o distribuţie indirectă sau semiindirectă.

• Aspecte calitative

Distribuţia luminanţelor în câmpul vizual trebuie să fie foarte echilibrată, pentru realizarea unui ambient plăcut şi confortabil.

Reflectanţele vor fi, din aceleaşi motive, crescătoare de la pardoseală (0,2...0,4) la pereţi (0,4...0,6) şi plafon (0,7...0,9).

Culoarea luminii are un rol foarte important, ea contribuind la realizarea unei ambianţe plăcute, intime pentru pacienţi.

Culoarea aparentă a surselor de lumină folosite în saloanele bolnavilor va fi caldă sau neutră (aceasta din urmă în spitalele din regiunile tropicale).

Culorile suprafeţelor reflectante trebuie să fie calde şi estompate.

Redarea culorilor trebuie să fie foarte bună/excelentă pentru încăperile destinate operaţiilor, intervenţiilor şi consultaţiilor.

Modelarea intervine în cazul examinărilor şi intervenţiilor chirurgicale şi este realizată prin intermediul aparatelor de iluminat special destinate acestui scop.

• Caracteristicile sistemelor de iluminat

În camerele bolnavilor, sistemul de iluminat trebuie să asigure acestora odihna, destinderea, lectura, să permită şi examinarea lor, iar din alt punct de vedere să asigure condiţiile de circulaţie, de veghe (noaptea), precum şi condiţiile de curăţire a încăperii.

Aceste cerinţe implică realizarea unui sistem general, de regulă, fluorescent direct-indirect, necesar îngrijirii medicale curente şi altor servicii uzuale, cu comanda de la uşă, precum şi a unui iluminat local la patul bolnavului, orientat astfel încât să nu-i deranjeze pe ceilalţi ocupanţi ai salonului, sistem realizat prin intermediul unui aparat de iluminat special care asigură, în afara unei luminanţe scăzute (sub 350 cd/m^2), şi alte utilităţi, cum ar fi: locuri de priză, circuite de alimentare, circuite de curenţi slabi şi eventuale circuite tehnologice (conducte de oxigen, aer comprimat etc - fig. I.11.24).

În afară de aceste două sisteme de iluminat, se mai pot prevedea: iluminat local suplimentar doar pentru încăperi speciale, în care tratamentul sau examinarea pacientului se fac chiar în acea încăpere; iluminat de veghe care asigură atât senzaţia de linişte a bolnavului, cât şi circulaţia în timpul nopţii; iluminat de supraveghere (redus) de noapte care poate fi comandat local doar de către personal.

Distribuţia longitudinală a iluminărilor obţinută cu acest tip de aparat de iluminat este prezentată în fig. I.11.25.

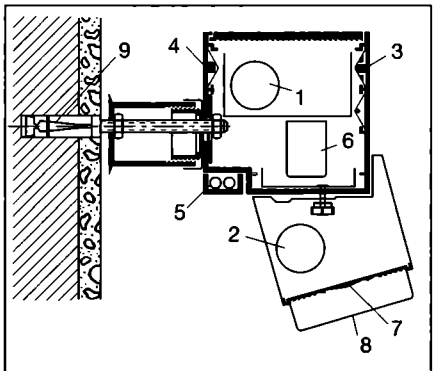


Fig. I.11.24. Secţiune printr-un aparat de iluminat integrat cu multiple funcţiuni: 1 - sursă de lumină indirectă; 2 - sursă de lumină directă; 3 - canal pentru curenţi slabi; 4 - canal pentru circuite de alimentare; 5 - canale pentru circuite tehnologice; 6 - capac transparent de protecţie; 7 - lentilă tip Fresnel din plexiglas; 8 - grătar difuzant; 9 - diblu.

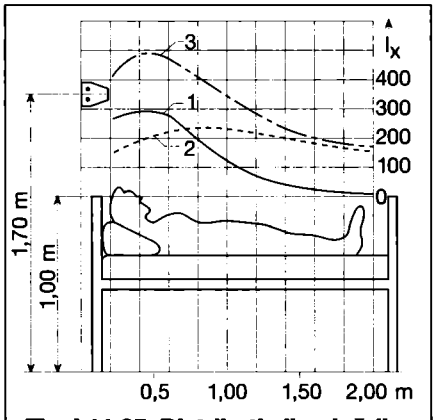


Fig. I.11.25. Distribuţia iluminărilor într-o secţiune longitudinală: 1 - contribuţia iluminatului direct; 2 - contribuţia iluminatului indirect; 3 - suma celor două contribuţii.

Tabelul I.11.6. Niveluri de iluminare pentru instituţii medicale

Încăperi	Nivel de iluminare [lx]	Încăperi	Nivel de iluminare [lx]
Coridoare:		*Terapie intensivă:*	
noaptea	50	la capătul patului	50
ziua/seara	200	observaţie	750
Cameră de gardă:		*Infirmerii*	300
circulaţie noaptea	10	*Săli de operaţie:*	
observaţie noaptea	5	pregătire operaţie	500
iluminat general	150	iluminat general	1000
„examinări simple, citire"	300	iluminat local	10000
Cabinete medicale:		*Autopsie:*	
iluminat general	500	iluminat general	750
iluminat local pentru examinări	1000	iluminat local	5000
		Laboratoare şi farmacii:	
		iluminat general	750
		iluminat local	1000

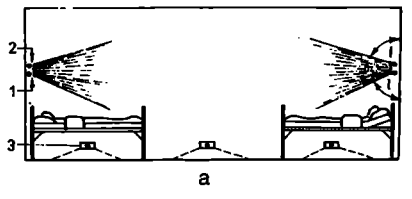
În fig. I.11.26 a, se poate observa modul de amplasare a unui astfel de aparat de iluminat în încăperea bolnavilor.

Pentru coridoare, se are în vedere ca trecerea, de la o cameră luminată de soare în coridor să se facă cu evitarea contrastelor inconfortabile. De aceea aparatele de iluminat se montează asimetric, în opoziție, față de ușile camerelor. Pentru ca bolnavul transportat orizontal să nu privească direct aparatele de iluminat, acestea se montează lateral pe coridor, eventual dirijat.

În privința sălilor de operații, importantă este folosirea aparatului de iluminat scialitic amplasat, de obicei, în centrul încăperii, deasupra mesei de operație, cu ajutorul căruia se obțin niveluri foarte mari de iluminare. Aparatul de iluminat scialitic (fig. I.11.26 b) se compune din mai multe surse de lumină montate în aparate de iluminat cu reflector care concentrează fluxul luminos pe o suprafață mică (aproximativ 500 cm^2) corespunzătoare câmpului operator, asigurând o uniformitate foarte bună și un nivel de iluminare de 10000 lx, evitând umbrele sau contrastele în zona de intervenție.

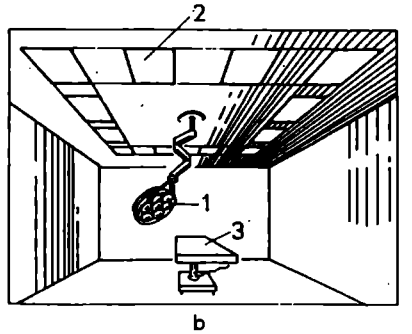
AIL scialitic este dotat și cu sursă de alimentare proprie (baterie de acumulatoare) care are rolul de a asigura un nivel de iluminare pentru continuarea lucrului, egal cu cel normal alimentat din rețeaua de 230 V.

Pentru celelalte tipuri de încăperi, tratarea sistemelor de iluminat se face în mod obișnuit, bineînțeles ținând seama de caracteristicile fiecărei încăperi.



a

Fig. 11.26 a. Iluminatul într-un salon de bolnavi;
1 - SIL direct local; 2 - SIL indirect; 3 - SIL veghe.



b

Fig. 11.26 b AIL scialitic
1 - AIL scialitic; 2 - SIL de plafon; 3 - masă de operație.

11.2.5. Muzee și galerii de artă

Sistemele de iluminat destinate muzeelor, expozițiilor și galeriilor de artă, trebuie să îndeplinească condiții specifice, în special calitative, punând în valoare exponatele fără a atrage atenția asupra componentelor sistemului (surse, aparate, amplasament) sau asupra unora din efectele sale (suprafețe de luminanță prea mare sau prea mică).

SIL trebuie să realizeze punerea în evidență a caracterului exponatelor, a intențiilor autorilor atunci când ele sunt cunoscute.

• Aspecte cantitative

Nivelul de iluminare în muzee și galerii de artă trebuie menținut în limite relativ reduse datorită efectelor de degradare a unor exponate la radiații luminoase și ultraviolete.

Având în vedere influența luminii asupra vieții obiectelor de artă se recomandă nivelurile din tabelul I.11.7.

Distribuția fluxului luminos utilizată, în general, la clădirile noi poate fi directă, direct-difuzantă sau combinată (directă sau indirectă) pentru echilibru. La clădirile vechi, unde de multe ori trebuie puse în evidență plafoanele care constituie elemente de artă, se recomandă distribuția semi-indirectă, indirectă sau directă-indirectă, având în vedere considerentele locale specifice.

• Aspecte calitative

Calitatea iluminatului este deosebit de importantă.

Distribuția luminanțelor în cazul muzeelor și galeriilor de artă are aspecte specifice. Problemele de *orbire fiziologică* sunt, în general, evitate printr-o alegere corespunzătoare a AIL, iar cele de *orbire psihologică* sunt mai puțin importante, durata de vizionare fiind destul de scurtă pentru ca urmările contrastului de luminanță să se manifeste. Aspectul care creează probleme este cel al *orbirii indirecte* (reflectate). Acesta se manifestă sub forma *orbirii de voal* a picturilor pe pânză luminate cu spoturi dacă unghiurile de incidență nu sunt corespunzător alese.

Dacă se folosesc casete de protecție din sticlă, reflexia de voal poate produce *orbire de voal*. Evitarea se realizează prin alegerea unor unghiuri de incidență corespunzătoare sau prin introducerea de AIL speciale în casetă

Tabelul I.11.7. Niveluri de iluminare pentru muzee și galerii de artă

Materialul expus	Nivelul de iluminare maxim admis [lx]
Obiecte insensibile la lumină (ex.: metal, piatră, sticlă sau ceramică, cristal, bijuterii ș.a.)	Nelimitat dacă nu există considerente speciale dictate de radiația termică a sursei de lumină (orientativ, 300...500)
Picturi în ulei sau tempera, articole din piele, corn, os, fildeș, lemn lustruit ș.a.	150
Materiale foarte sensibile la lumină ca: picturi de apă, textile, tapiserii, costume, manuscrise, tipărituri, guașe, articole de botanică ș.a.	50

Tabelul I.11.8. Factori de depreciere și caracteristici pentru diferite lămpi

Sursa de lumină	Factor de depreciere	Temperatura de culoare [K]	Eficacitate luminoasă [lm/W]	Indicele de redare a culorilor *Ra*
White SON (SDW-T) 50 W	0,10	2500	46	80
Lampă cu incandescență (40 W)	0,15	2800	12,5	100
Lampă fluorescentă tubulară [36 W]				
culoare: 93	0,15	3000	64	95
94	0,18	3800	65	95
82	0,19	2700	90	85
83	0,20	3000	96	85
84	0,21	4000	96	85
Lumină de zi dată de un cer acoperit, filtrată printr-o sticlă de 44 mm grosime	0,60	4500 - 7000	100 - 290	100

(mascate).

Reflectanța pardoselii trebuie să fie, în general, scăzută (0,1...0,3) pentru a evidenția mai bine exponatele. În cazul în care iluminatul este general localizat, cu nivel ambiental scăzut, se impune o pardoseală cu reflectanță mai ridicată (0,4).

11.2.5.1 Culoarea luminii

Culoarea luminii este deosebit de importantă în privința redării culorilor pentru galeriile de pictură și expozițiile în care se expun opere de artă.

Pe de altă parte s-a constatat că lămpile cu emisie de radiații reci în spectrul vizibil degradează (alterează) mai rapid culorile naturale. Datorită acestui considerent și al necesității realizării unei ambianțe calde, plăcute atractive, trebuie alese lămpi fluorescente de culoare caldă și neutră cu o redare foarte bună a culorilor (tab. I.11.8).

De asemenea, suplimentarea cu lămpi incandescente cu halogen sau fluorescente compacte este adeseori necesară și deosebit de eficientă.

Noua sursă SDW-T produsă de firma PHILIPS poate asigura un ambient cald, o redare bună și o conservare maximă a exponatelor.

Culoarea suprafețelor reflectante trebuie să fie armonizată cu cea a surselor. De aceea pentru zugrăveli și placaje se aleg culori calde, mate.

Direcționarea luminii contribuie la modelarea exponatelor tridimensionale (sculptură, ceramică, porțelanuri ș.a) și uneori chiar a celor plane cu textură.

Relieful trebuie realizat prin umbre ușoare care accentuează echilibrat imaginea reală, gândită de autor.

Iluminatul difuz suprimă contrastele și capacitatea de modelare, imaginea receptată fiind aplatizată și fără detalii, metalul apare fără luciu, cristalul și ceramica fără strălucire.

Lumina provenită de la o sursă punctuală pe o anumită direcție, conduce la contraste *dure* care pot degrada imaginea reală, dacă nu se intervine cu surse de intensități (distanțe de montare) diferite.

Practic, se recomandă ca direcționarea să se realizeze prin încercări directe sau pe model în scopul realizării unei modelări (reliefări) corespunzătoare.

Accentuarea exponatelor plane sau tridimensionale este un alt aspect calitativ specific, în strânsă conexiune cu modelarea.

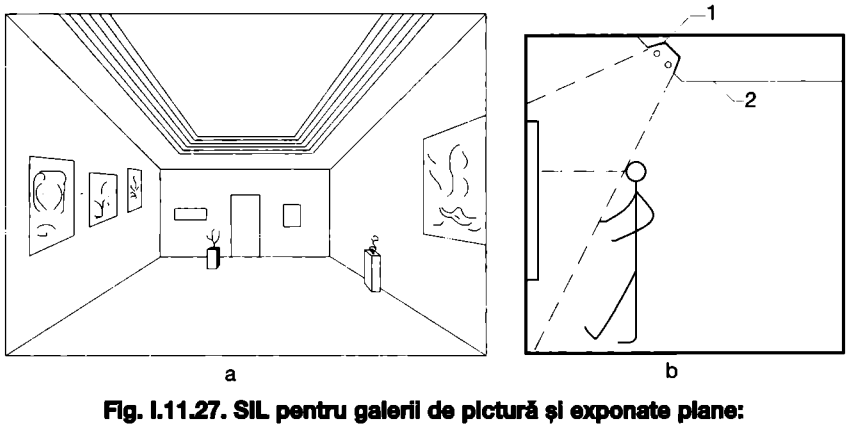


Fig. I.11.27. SIL pentru galerii de pictură și exponate plane:
a - SIL general localizat direct difuz; b - SIL general localizat 1.

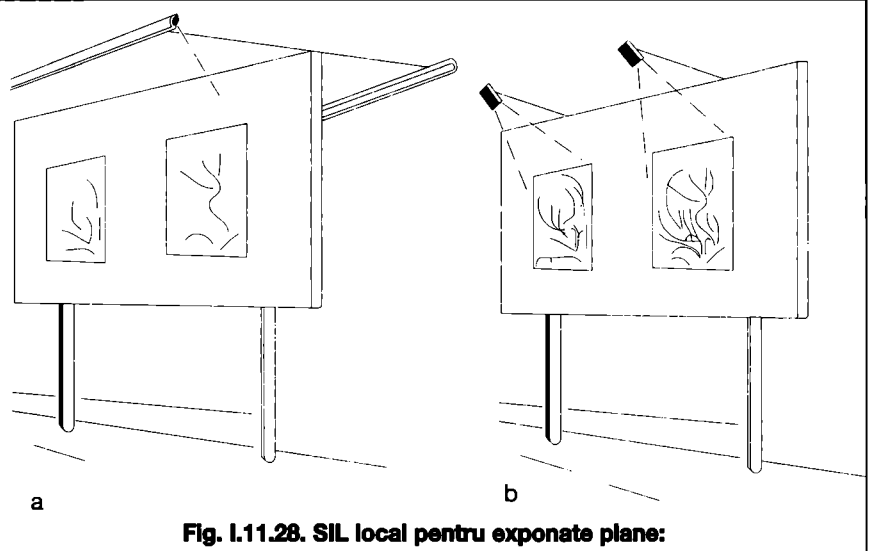


Fig. I.11.28. SIL local pentru exponate plane:
a - AIL liniare; b - AIL punctuale.

Iluminatul suplimentar local, contrastul de luminanță, culoare sau tonalitate al aceleiași culori, între exponat și fond, reprezintă aspecte ale modului de accentuare.

Pentru exponatele tridimensionale se recomandă ca fondul să aibă o culoare neutră sau foarte deschisă (în funcție de culoarea și intensitatea culorii) cu finisaj difuzant și fără textură.

Pentru obiectele mici, expuse pe fond general deschis, trebuie prevăzute fonduri locale de saturație medie pentru a se evita pierderea vizuală a detaliilor, datorită contrastului de luminanțe. De asemenea, orice soluție necesită o verificare ulterioară înainte de darea în exploatare, direct la locul de montare, unde se realizează ultima reglare, eventual, în prezența autorului exponatului (când este posibil).

O condiție calitativă specifică a iluminatului muzeelor este expresivitatea sistemului, prin aceasta înțelegând capacitatea de a pune în evidență, prin lumină, caracterul compoziției prezentate. Astfel, pentru o scenă dramatică este necesar un iluminat concentrat cu contraste, iar pentru o scenă veselă, iluminatul uniform fără contraste. Inversarea sistemelor conduce la interpretări vizuale eronate.

Adaptarea vizuală, în condițiile muzeelor, pune probleme specifice. Astfel, intrarea în muzeu trebuie să realizeze o trecere acceptabilă din exterior în interior. De asemenea, gradarea iluminărilor pe parcursul circuitului de vizitare trebuie să fie judicios aleasă încât să nu se producă, niciodată, salturi de niveluri. În special, trecerea de la niveluri ridicate (sculptură) la niveluri scăzute (tapiserii) nu trebuie să se producă direct. Aspectul exponatelor, dacă nu se respectă această condiție, va fi întunecat, sumbru.

• Caracteristicile sistemelor de iluminat destinate muzeelor și galeriilor de artă

Sistemul de iluminat prin componentele lor trebuie să realizeze condițiile cantitative și calitative enunțate. Având în vedere caracterul, în general, dinamic al acestor obiecte (în special, expozițiile) și sistemul de iluminat trebuie să se adapteze acestor cerințe, prin flexibilitatea (suplețea) sa, respectiv, prin modul de adaptare rapidă la situații noi fără modificarea căilor de curent.

SIL combinat (general și local) acoperă, în mod uzual, cerințele funcționale și estetice ale muzeelor și galeriilor. Astfel, sistemul de iluminat general uniform distribuit asigură nivelul de ambianță. Acesta poate fi suplimentat, atunci când este necesar, cu iluminatul local.

Printre cele mai dinamice sunt structurile spațiale cu AIL punctuale, variabile ca poziție.

11.2.5.2 Galeriile de pictură, tapiseriil și alte exponate plane

Sistemul de iluminat general localizat destinat galeriilor de pictură poate fi realizat prin benzi sau șiruri luminoase, montate pe contur, cu o eventuală orientare către pereții de expunere, utilizând AIL fluorescente integrate în plafon (fig. I.11.27 a). Sistemul este flexibil deoarece permite schimbarea exponatelor, eficient, realizând direcționarea iluminatului către exponate, și confortabil, datorită unei distribuții acceptabile de luminanțe și cu accentuarea corespunzătoare a pereților de expunere.

Un sistem de iluminat general localizat și direcționat (în secțiune) este prezentat în fig. I.11.27 b.

Se poate remarca AIL echipat cu lămpi fluorescente integrat în plafonul fals (2). Sistemul este prezentat pentru o încăpere îngustă de expunere (coridor), dar poate fi utilizat și pentru o încăpere mai largă prin simetrizarea soluției. Se pretează la înălțimi mici.

De asemenea, tot pentru muzeele amenajate în clădiri vechi, cu caracter istoric, care sunt accesibile publicului în timpul zilei, se poate combina iluminatul natural cu cel electric. Astfel, primul este folosit pentru ambianță, iar al doilea, localizat (cu spoturi), pentru accentuare. Pentru curățenie și circulația personalului se utilizează un iluminat redus de circulație.

Un SIL general uniform distribuit utilizând un plafon luminos/luminat poate fi, de asemenea, realizat pentru galeriile de pictură, unde nu este necesară modelarea.

Expozițiile de desene, planșe, fotografii și alte exponate instalate pe panouri verticale, pe lângă iluminatul general, trebuie echipate cu iluminat local, realizat, în mod obișnuit, cu lămpi fluorescente montate în AIL specializate (fig. I.11.28 a) sau cu AIL cu LIH (fig. I.11.28 b).

Sistemele de iluminat local pentru galeriile de picturi sau alte exponate plane verticale similare trebuie să îndeplinească o serie de condiții geometrice de amplasare, pentru realizarea condițiilor calitative anterior enunțate, coordonate cu sistemul de iluminat general ambiental. Astfel, în fig. I.11.29 c, sunt indicate coordonatele unghiulare și liniare ale poziției unui spot luminos cu distribuție concentrată sau largă.

Pentru o vedere corectă a exponatului, sunt necesare:
- o componentă dată de iluminatul general difuz ($\approx 40\ \%\ E_{tot}$)
- distanțe minime de vedere în funcție de dimensiunile exponatului (dacă înălțimea exponatului este mai mare decât cea din fig. I.11.29 c, se adaugă 4 cm la creșterea înălțimii cu 2,5 cm).

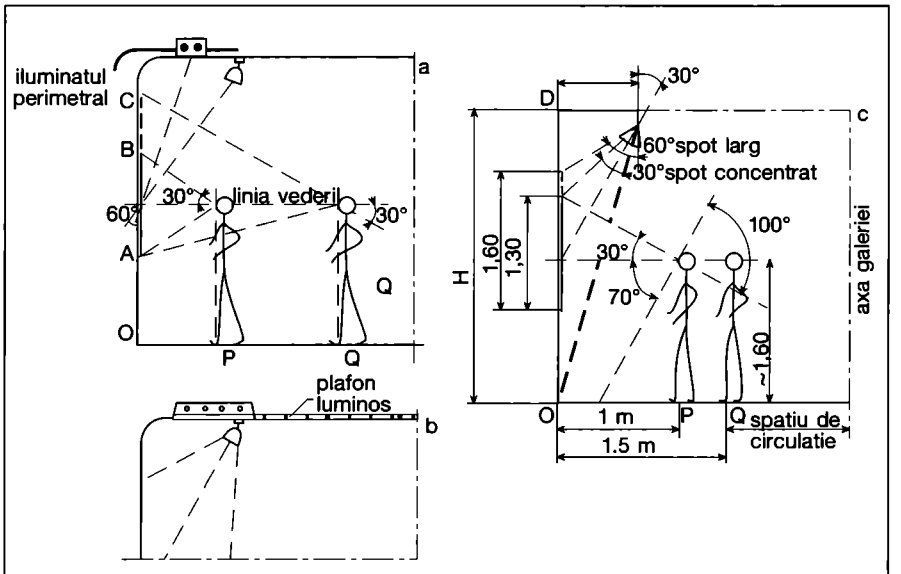


Fig. I.11.29. SIL (amplasare) pentru o galerie de pictură:
a - SIL general fix perimetral + SIL local reglabil; b - SIL general fix (bandă + plafon luminos) + SIL local reglabil, c - coordonatele de poziționare.

Distanța de montare x rezultă:

$$x = (H-1{,}6)\operatorname{tg} 30° \qquad (I.11.1)$$

În fig. I.11.29 a și b se poate urmări modul de amplasare a SIL local față de SIL general (perimetral sau central) în conexiune cu poziția de observare.

11.2.5.3 Galeriile pentru sculptură

În aceste încăperi, SIL combinate reușesc să acopere toate exigențele, printr-un SIL general uniform distribuit de ambianță, realizat cu surse fluorescente, completat cu un SIL local cu spoturi.

Flexibilitatea sistemului la dinamica schimbării exponatelor poate fi obținută prin montarea spoturilor pe șină, ceea ce permite modificarea ușoară a poziției acestora.

În fig. I.11.30 este prezentată schița unui sistem de iluminat combinat. Sistemul de iluminat general (1) este realizat cu AIL cu lămpi fluorescente integrate în plafon și iluminatul local (2) cu spoturi luminoase montate pe șină într-o structură spațială.

Adeseori, în clădiri vechi sau chiar de dată mai recentă, se utilizează un plafon luminos (transparent) cu lumină naturală ziua, și electrică, seara.

11.2.5.4 Muzee de istorie, numismatică, științe naturale și alte destinații

În afara aspectelor comune tratate în domeniul istoriei și științelor naturale, se utilizează și sisteme specifice de expunere, ca:
- nișe protejate sau neprotejate cu perete din sticlă;
- casete verticale sau orizontale;
- vitrine din sticlă aparentă.

Fenomenul de reflexie perturbatoare de voal, ce se manifestă la suprafața sticlei de protecție, trebuie diminuat astfel:
- adoptarea de suprafețe cu reflectanțe mari pentru fondul de expunere, postamente sau socluri;
- utilizarea de AIL cu luminanță scăzută;
- înclinarea geamului vitrinei/casetei cu cel puțin 10° față de planul vertical (fig. I.11.31).

Nișele neprotejate se utilizează în muzeele de istorie amenajate în clădiri-muzeu. Se pot utiliza nișele existente,

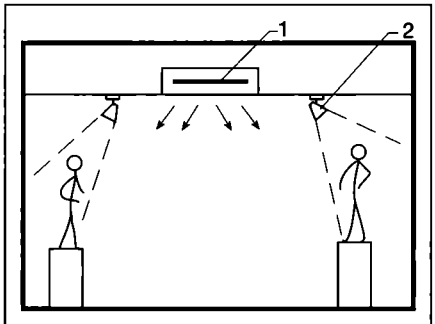


Fig. I.11.30. SIL combinat din muzeele cu sculpturi.

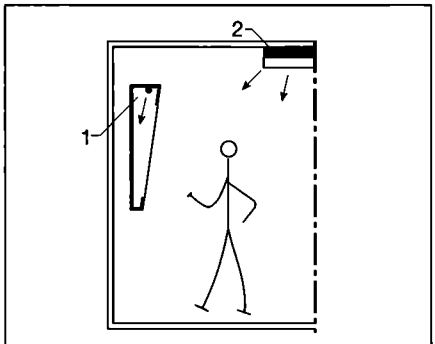


Fig. I.11.31. SIL general (2) și SIL local (1).

ferestrele ş.a. pentru a monta în acestea exponate tridimensionale iluminate cu spoturi sau alte sisteme mascate.

Nişele protejate cu sticlă, utilizate în muzeele de ştiinţe naturale sau de istorie, pentru exponatele tridimensionale, se echipează cu un sistem de iluminat propriu integrat.

Aceste moduri de expunere (în nişă închisă) se pot utiliza numai în cazul în care exponatele nu se degradează datorită degajărilor de căldură ale surselor. Dacă evacuarea căldurii nu este posibilă, se alege un alt sistem.

Casetele verticale se montează aparent, pe perete, cuprinzând iluminatul local integrat (fig. I.11.31). Dacă exponatele se degradează la temperatură sau lumină, AIL local, se montează (cu anexele şi suprafaţa de transfer de căldură) în afara casetei (fig. I.11.32).

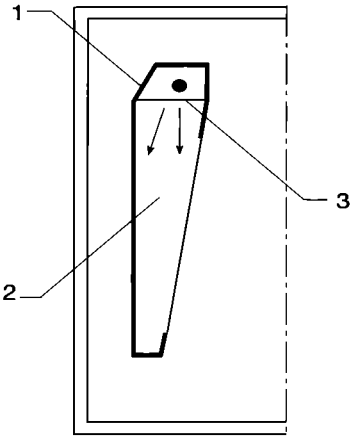


Fig. I.11.32 Casetă verticală (2) cu AIL (1) montat în exteriorul casetei; în casetă transmisia luminii se realizează prin sticlă plană (3).

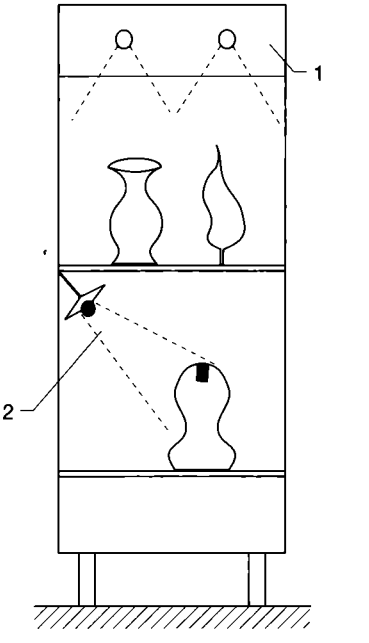


Fig. I.11.33. SIL interior pentru vitrine transparente.

Casetele orizontale, utilizate pentru exponate mici (bijuterii, numismatică), primesc lumină fie de la SIL-general, fie cumulat cu cel local (înglobat în casetă).

Vitrinele utilizează iluminatul general fluorescent direct realizat cu AIL integrate în plafon. Pot fi echipate şi cu iluminat local interior fluorescent (1) sau incandescent (2), ca în fig. I.11.33, dacă exponatele impun aceasta.

• Particularităţi specifice

Radiaţiile luminoase şi ultraviolete reprezintă factori agresivi, de degradare a unor opere de artă. Degradarea depinde de:

- sensibilitate spectrală a materialului;
- compoziţia spectrală a luminii;
- cantitatea de lumină captată, care este în funcţie de nivelul de iluminare şi timpul de expunere.

Deteriorarea se poate manifesta în general sau selectiv, prin alterarea uneia sau a mai multor culori.

Degradarea se manifestă la materialele de natură organică şi este în funcţie de cantitatea de lumină $Q = \Phi \cdot t$ [lm·s] (în care Φ este fluxul luminos şi, t, timpul de expunere) care acţionează asupra exponatului.

Efectul cumulat al cantităţii de lumină şi al compoziţiei spectrale produce o degradare (D) mai rapidă sau mai lentă în funcţie de caracteristicile fizicochimice ale materialelor.

Efectul radiaţiilor asupra culorilor este determinat de lungimea de undă astfel că radiaţiile luminoase cu lungimi de undă mici şi cele ultraviolete sunt cele mai agresive.

Radiaţiile luminoase de lungime de undă mare şi cele infraroşii nu degradează culorile, dar dacă sunt în apropierea exponatelor de hârtie, fibre textile ş.a. pot conduce la uscarea şi distrugerea lor, datorită căldurii acumulate în acestea.

Măsurile de protecţie împotriva degradării sunt:

- utilizarea de lămpi fluorescente cu emisie scăzută sau practic nulă de radiaţii ultraviolete (datorită conversiei şi absorbţiei acestor radiaţii de către stratul de luminofor dublu);
- utilizarea lămpilor incandescente cu halogen sau cu descărcări tip SDW;
- utilizarea materialelor absorbante de radiaţii ultraviolete (filtre ultraviolete) şi transparente pentru lumina naturală;
- limitarea nivelului de iluminare şi reducerea timpului de expunere la radiaţiile luminoase.

11.2.6. Săli de spectacole

Sistemele de iluminat destinate sălilor de spectacole trebuie să răspundă unor probleme deosebite atât din punct de vedere estetic cât şi funcţional. Interconexiunea dintre iluminat şi arhitectură este, mai ales în acest caz, o condiţie determinantă în concepţia unui ansamblu care să corespundă exigenţelor destinaţiei.

Mediul luminos trebuie să realizeze o ambianţă plăcută, caldă, de divertisment festiv. Din punct de vedere al funcţiunii se pot distinge două tipuri de sisteme de iluminat:

- destinate sălilor de spectacole şi anexelor lor, accesibile publicului, pentru care caracteristicile sunt similare indiferent de destinaţia sălii (teatru, operă, cinematograf sau cele cu caracter polivalent);
- de producţie, specific scenei teatrelor, operelor, care are multe părţi comune cu sistemul din studiourile de cinematografie şi televiziune.

Aspecte cantitative

Nivelul de iluminare pentru aceste categorii de încăperi trebuie astfel ales încât să asigure o trecere treptată de la intrarea în clădire şi până în sala de spectacole, fără variaţii mari, şi, în orice caz, ultima încăpere înainte de sală va avea un nivel mai scăzut decât cel al sălii. Nerealizarea acestui deziderat va crea un aspect sumbru, trist al sălii, la prima vedere.

Pentru sala de spectacole, nivelul variază în funcţie de destinaţie de la 50 lx pentru cinematografe, 100 lx la teatre, săli de concerte, până la 150 lx pentru auditorii şi săli de conferinţe. Pentru clădirile reprezentative, de tip unicat, nivelul poate fi ridicat cu 1 sau 2 trepte. Pentru sălile polivalente se asigură mai multe trepte de niveluri, obţinute în mod obişnuit prin reglarea fină a fluxului luminos, în funcţie de activitatea desfăşurată în sală, în momentul considerat. Pentru holuri de intrare şi foaiere se recomandă 150...200 lx, iar pentru zona de acces către sală, un nivel de iluminat mai redus, în funcţie de distribuţia sălii.

Distribuţia fluxului luminos trebuie să satisfacă condiţiile de confort, astfel că are totdeauna şi o componentă de flux superior, mai mare sau mai mică, în funcţie de destinaţie (la sălile de cinematograf mai mare, la celelalte, moderată), atât pentru sala de spectacole, cât şi pentru anexele sale.

Aspecte calitative

În sală şi în anexe distribuţia luminanţelor trebuie să prezinte un echilibru foarte bun. Astfel, sursele de lumină trebuie să aibă o luminanţă moderată pentru evitarea orbirii directe (fiziologice), în special, când la săli vechi se utilizează candelabre sau aplice decorative cu surse de lumină vizibile. Evitarea orbirii psihologice se realizează

prin echilibrul de ansamblu obținut prin gradarea judicioasă a fluxului superior.

Gradarea ambientală a reflectanților este deosebit de importantă pentru echilibrul vizual. Astfel, plafonul se zugrăvește într-o culoare foarte deschisă, $\rho = 0,8...0,9$, pereții cu culori estompate cu $\rho = 0,4...0,6$ și pardoseala cu $\rho < 0,3$. În cazul utilizării surselor incandescente cu halogen, suprafața pardoselii va fi difuzantă și cu reflectanță mică.

Necesitățile de confort impun o culoare aparentă caldă a surselor de lumină, cu excepția sălilor de conferințe unde este recomandată o culoare neutră care corespunde necesităților ambientale. Pentru săli reprezentative (unicat) de teatru, operă, concert, LIH realizează un ambient cald-atrăgător, plăcut, punând în evidență strălucirea unor elemente decorative.

De asemenea, spațiile de acces (holuri, foaiere, scări monumentale ș.a) vor fi tratate similar.

Pentru sălile polivalente mari și anexele lor, se pot folosi ca soluții moderne lămpile fluorescente din noua generație de culoare caldă cu redare foarte bună a culorilor. Casele de cultură și sălile de cinematograf obișnuite se tratează similar. În sălile de cinematograf importante, cu finisaje deosebite, se utilizează surse incandescente cu halogen.

Redarea culorilor trebuie să fie foarte bună sau bună. Culoarea suprafețelor ambientale, în general caldă și nesaturată, corespunde unui mediu luminos confortabil.

Modelarea figurii umane nu pune probleme în cazul utilizării unor aparate cu componente de flux inferior. Aceasta se rezolvă, de regulă, prin folosirea iluminatului incandescent cu halogen.

• Caracteristicile sistemelor de iluminat pentru săli de spectacole

Pentru toate tipurile de săli amintite se adoptă sistemul general uniform distribuit, cu amplasarea AIL în funcție de rezolvarea plastică arhitecturală a sălii, într-o concepție unitară arhitectură-iluminat. Totodată se ține seama de necesitatea funcțională a întreținerii curente prin accesul ușor la AIL și surse, pentru curățire și înlocuire. În mod uzual, pentru AIL integrate în plafoane înalte, se prevede un etaj superior tehnic, cuprinzând pasarele și platforme de circulație pentru personalul de întreținere.

Pentru sălile de operă se adoptă, de cele mai multe ori, soluția clasică a iluminatului general realizat cu candelabre decorative din cristal, echipate cu lămpi fluorescente compacte de dimensiuni reduse. Candelabrul trebuie prevăzut cu un sistem mecanic (troliu) de ridicare la partea superioară a sălii sau chiar de mascare, într-un plafon fals, astfel ca pe perioada spectacolului să nu împiedice vizibilitatea spectatorilor aflați la balcoane. Sistemul este completat cu aplice laterale pe pereți și balcoane, din material și de concepție similare.

Pentru sălile de concert vechi, în cazul unei modernizări a instalațiilor de iluminat, sistemul se menține în nota inițială în concordanță cu rezolvarea arhitectonică.

Pentru sălile de concert moderne se recomandă un SIL uniform distribuit cu integrarea AIL cu lămpi incandescente cu halogen în plafonul sălii la înălțime mare. Deoarece contrastul AIL-plafon poate fi mare, este necesară introducerea unui iluminat suplimentar indirect sau semiindirect, pentru echilibrarea distribuției luminanțelor.

În fig. I.11.34 se poate urmări o secțiune printr-o sală de concert echipată cu două sisteme de iluminat general uniform distribuit și anume: iluminat direct concentrat cu AIL.D (cu reflector din sticlă oglindată, lămpi LIH și integrate în plafon) și iluminat indirect realizat cu AIL.ID cu distribuție nesimetrică a fluxului luminos, acesta fiind dirijat către plafonul fals, obținând astfel o luminanță uniformă a acestuia.

Comanda luminii trebuie realizată centralizat, dintr-o cameră de regie; alimentarea cu energie electrică a aparatelor de iluminat se face astfel încât să se poată efectua reglarea fină a nivelului de iluminare.

Pentru sălile de spectacole cu caracter multifuncțional (concert, conferințe, manifestări științifice sau culturale, cinematograf ș.a) este necesară realizarea unui sistem de iluminat flexibil adaptabil la diferitele funcțiuni. Se prezintă, de exemplu, două posibilități:

- echiparea sălii cu două sau mai multe SIL, care să poată fi conectate independent, fără ca nefuncționarea unuia să fie sesizată de publicul spectator.
- prevederea unui singur SIL direct sau semidirect cu mai multe trepte de funcționare (1...3), corespunzătoare mai multor niveluri de iluminare.

Prima variantă este mai estetică dar necesită o investiție mai mare; a doua este mai economică, dar mai modestă ca aspect.

Pentru sălile de ședințe importante este recomandabil un iluminat direct pentru scris-citit și un iluminat indirect de echilibrare a luminanțelor.

Sălile de cinematograf impun sisteme specifice, dată fiind solicitarea permanentă a ochiului. Datorită acestui considerent este indicat ca, în perioadele dintre spectacole, mediul luminos să fie odihnitor, fără contraste și cu un echilibru deosebit al distribuției luminanțelor. Aceasta se poate realiza cu un SIL indirect în totalitate sau combinat.

În fig. I.11.35 este dată o secțiune longitudinală printr-o sală de cinematograf prevăzută cu un SIL indirect (1) mascat în scafele transversale (3), suspendate de plașeul de rezistență (4). Pentru completare este utilizat SIL semiindirect realizat cu aplicele (2) montate pe pereții laterali.

Adaptarea vizuală la trecerea de la iluminatul în funcțiune la întreruperea sa sau invers este o problemă foarte importantă pentru confortul vizual. O trecere instantanee sau rapidă „de la totul la nimic" este inadmisibilă pentru confortul ochiului, în condițiile unei săli

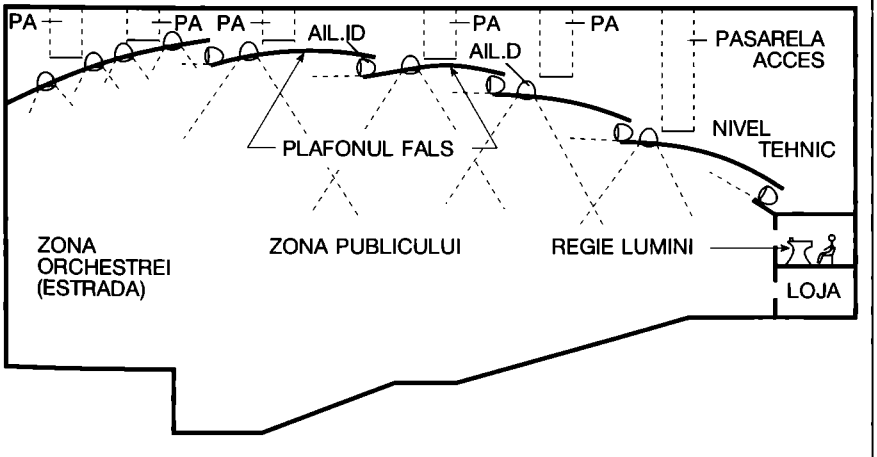


Fig. I.11.34. Secțiune longitudinală printr-o sală de concert, echipată cu 2 SIL

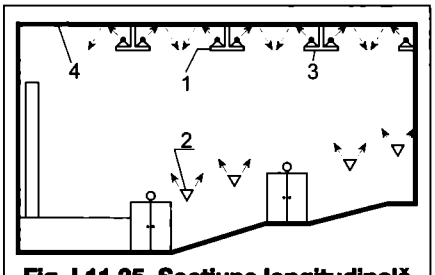


Fig. I.11.35. Secțiune longitudinală printr-o sală de cinematograf.

de spectacole. Soluția optimă este reglarea fină a fluxului luminos. Soluția economică, dar mai puțin confortabilă, este reglarea în trepte.

La cinematografe, comanda principală se realizează din cabina de proiecție și anume, de la fiecare aparat cinematografic (comandă amplasată lângă orificiul de observare). În afara comenzii principale, se prevăd 1 sau 2 comenzi de securitate, accesibile numai personalului de întreținere. De asemenea, trebuie prevăzută posibilitatea de acționare de către personalul de întreținere, din locuri ușor accesibile, a unui iluminat redus pentru curățenie.

Sistemele de iluminat destinate anexelor sălii trebuie să creeze un cadru plăcut, festiv, de la intrare, hol principal, holuri secundare, foaiere, scări și până în sală. Astfel, la intrare, în exteriorul clădirii, sub copertina de protecție sau sub porticul fațadei, la clădirile clasice, se prevede un iluminat de primire, atrăgător, realizat cu lămpi incandescente cu halogen sau fluorescente în funcție de soluția de ansamblu și în concordanță cu iluminatul stradal.

Holul principal trebuie să fie deosebit de atractiv, cu un nivel de iluminare de 100...200 lx în funcție de importanța sălii și de stilul arhitectural, folosind LIH/LF compacte/MH sau LEDuri de culoare caldă.

Pentru holurile sălilor de conferințe și similare se adoptă un SIL uniform distribuit ce se realizează în funcție de rezolvarea plastică a plafonului, folosind AIL fluorescente, de regulă, încastrate.

În afara iluminatului normal al sălii și anexelor, dată fiind aglomerarea de oameni care creează posibilități de accidente la întreruperea acestuia, trebuie prevăzute SIL de siguranță, pentru iluminat astfel: de evacuare, împotriva panicii (la sălile cu mai mult de 400 de locuri), de circulație în sală și iluminat de marcare a hidranților.

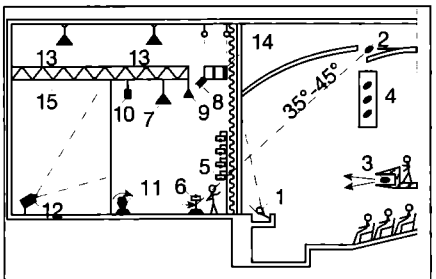


Fig. I.11.36. Secțiune printr-o scenă cu marcarea echipamentului:
1 - iluminat pentru rampă; 2 - proiector de sus din sală; 3 - proiector din față (balcon); 4 - proiectoare laterale din sală; 5 - proiectoare laterale scenă (arlechine); 6 - proiectoare mobile; 7 - rivalte; 8 - proiectoare de sus, montate pe pasarela mobilă (14); 9 - clopote; 10 - proiector de orizont (sus-față); 11 - proiector de orizont (jos-față); 12 - proiector de orizont (jos-spate); 13 - AIL pentru circulație; 14 - pasarelă mobilă; 15 - pasarelă fixă.

• Sisteme de iluminat pentru scene (de producție)

SIL de producție sunt destinate scenele teatrelor, operelor, studiourilor de radio, televiziune și cinematografie. Iluminatul de producție pentru scenă prezintă o complexitate deosebită datorită necesității de a fi în concordanță cu desfășurarea acțiunii, de a servi această acțiune, de a simula iluminatul natural de zi, seară sau intermediar, de a produce efecte luminoase care să sublinieze acțiunea piesei.

Iluminatul scenei trebuie să poată fi comandat cu proptitudine manual sau automat, cu reglare lentă sau rapidă a fluxului luminos.

SIL de producție pentru scenă se pot grupa în următoarele categorii de iluminat: din față și din lateral-față, iluminat lateral, de sus, iluminatul orizontului, mobil. În fig. I.11.36 sunt indicate pozițiile de principiu ale diferitelor AIL pentru scenă.

Iluminatul din față și lateral-față au rolul de a acoperi avanscena și zona imediat următoare de la cortină către interior. AIL folosite sunt pentru iluminatul rampei (1), proiectoarele reglabile comandate de la distanță montate fie în poziția (2) în cavitatea transversală din plafonul sălii, fie în poziția (3) în nișa realizată transversal pe peretele de protecție al balconului. La teatrele mari și moderne proiectoarele din față (3) se pot monta în fundul sălii, într-o încăpere special destinată și care poate fi comună cu camera de comandă și orga de lumini.

Pentru iluminatul lateral-față se prevăd proiectoarele (4) montate în deschideri în pereții laterali ai sălii sau avanscenei.

Iluminatul rampei are rolul diminuării contrastelor produse pe fața actorilor de iluminatul din plafon sau din pereții laterali. Ea este echipată cu patru culori: alb, albastru, galben și roșu, fiecare putând fi comandată și reglată separat, în funcție de necesitățile funcționale. La teatrele mari rampa este escamotabilă.

Proiectoarele din plafon se orientează cu axul longitudinal coliniar cu latura unghiului de 35°...45° făcut cu linia vederii orizontale a unui actor situat în zona centrală a scenei. Pentru iluminatul din plafon se prevăd următoarele surse: 4...8 proiectoare de 3 kW cu repartiție elipsoidală a intensităților luminoase, 2...3 proiectoare de 5 kW cu lentilă plan-convexă și 2...4 proiectoare de urmărire a acțiunii, de 1,5 kW, cu fascicul concentrat. Dacă sunt montate în fundul sălii, treptele de putere vor fi mai mari.

În cazul în care sala are balcon AIL se pot monta și pe frontalul balconului realizându-se un sistem mixt: iluminat din plafon combinat cu iluminat din balcon.

Pentru proiectoarele destinate iluminatului lateral-față se prevăd deschideri laterale fixe sau escamotabile comandate de la distanță. Se montează 3...6 proiectoare de 1...3 kW pe fiecare parte, de regulă, cu poziție fixă. Este recomandabil ca toate proiectoarele pentru iluminatul din față și lateral-față, să fie prevăzute cu filtre colorate comandate de la distanță.

Iluminatul lateral din scenă se realizează de la două grupuri de proiectoare (5) așezate pe un ax vertical comun, denumite arlechine. Se prevăd pe fiecare parte câte 3...6 arlechine de 500...1000 W în funcție de mărimea scenei. Iluminatul lateral se poate completa și cu proiectoare portative (6) montate pe stative și racordabile la prizele laterale sau la cutiile de prize prevăzute în pardoseală.

Iluminatul de sus se realizează cu rivaltele (7), proiectoarele (8) montate pe pasarela mobilă sau pe stelajul rivaltei, precum și cu ajutorul proiectoarelor de tip clopot (9) montate între rivalte. Acestea asigură iluminatul general difuz al scenei, prevăzându-se 2...3 șiruri paralele în funcție de adâncimea scenei. Calculul rivaltei se face pentru culoarea albă, încât să se realizeze la nivelul scenei o iluminare medie de 500 lx. Proiectoarele amplasate pe pasarela mobilă sunt de tipul spot concentrat (cu lentile Fresnel) având o putere de 500...2000 W, cu rol de urmărire a actorilor pe scenă (se montează 2...6 proiectoare). Clopotele au rolul de a ridica nivelul de iluminare orizontală în scenă, fiind echipate cu lămpi de 500...1000 W. În mod curent, se montează între prima și cea de a doua rivaltă. La scenele adânci se pot monta și între a doua și a treia rivaltă.

Iluminatul orizontului are rolul de a realiza lumina de orizont pentru a putea simula cerul la diferite ore ale zilei, de la aurora și până la amurg, precum și a nopților cu lună. Pentru a putea reproduce efectele reale din natură, iluminatul orizontului se realizează de sus, cu proiectoarele (10), și de jos, cu AIL speciale (11) și (12). Pentru iluminatul de sus al orizontului, se folosesc proiectoare de tip special, având între 500 și 1000 W echipate cu filtre de culori diferite (4...6 culori: albastru intens, albastru palid deschis, galben, roșu, verde și alb). Fluxul necesar se calculează astfel încât să se realizeze

1000...2000 lx albastru şi 300...600 lx pentru celelalte culori. Pentru iluminatul de jos se folosesc fie proiectoare echipate cu lămpi de 500 W, fie AIL speciale de tipul celor folosite pentru iluminatul rampelor cu o putere de 300...500 W. Se utilizează, de asemenea, filtre colorate în aceeaşi proporţie ca şi în iluminatul de sus. În cazul utilizării AIL de tip rampă, acestea se prevăd astfel încât să fie escamotabile, pentru a permite circulaţia în zona respectivă. Fluxul necesar se calculează astfel încât să realizeze 250...500 lx pentru albastru şi 75...150 lx pentru celelalte culori.

Utilizarea LIC pentru iluminatul orizontului prezintă dezavantaje cum ar fi:
- eficacitate luminoasă scăzută cu un consum mare de energie electrică;
- reglarea la temperaturi scăzute ale filamentului (cu coborârea tensiunii) produce importante modificări de culoare, care alterează efectul filtrelor;
- lumină insuficient de difuză creată de aceste surse.

Valorile indicate pentru puterile proiectoarelor sunt date pentru LIC, la alte surse determinându-se în funcţie de eficacitatea luminoasă.

Pentru comanda şi reglarea luminii, se utilizează un pupitru electronic de comandă, (orga de lumini) conectat la computer şi amplasat în partea opusă scenei, din care operatorul are o bună vizibilitate a scenei şi sălii. La pupitrul de comandă se conectează toate circuitele de lumină ale scenei, sistemul putând memora un număr de scene de lumină. Sistemul mai dispune de memorii de grup şi de un registru de memorie, care poate fi programat pentru a obţine secvenţele dorite pentru sistemele de iluminat.

Tranziţia luminii de la o scenă la alta poate fi abruptă, continuă sau controlată de ritmul muzicii.

11.2.7. Spaţii industriale

Datorită proceselor tehnologice şi de muncă variate, în funcţie de categoria produselor realizate în industrie, sarcinile vizuale sunt extrem de variate ca dimensiuni, formă (bi-sau tridimensionale) aşezate pe un fond contrastant sau necontrastant, colorate (intens sau estompat) sau cenuşii. Cu cât detaliile sunt mai fine, cu atât se cere o distingere mai bună a sarcinii vizuale, impunând condiţii cantitative şi calitative superioare.

Micile defecte calitative de orbire ale sistemelor pot conduce, prin acumulare, la degradarea condiţiilor de vizibilitate care au ca efect oboseala vizuală urmată de scăderea performanţei vizuale.

Deoarece iluminatul este o componentă de bază a desfăşurării corespunzătoare a procesului de muncă, trebuie să i se acorde importanţa funcţională ce o are, iar prin gradarea judicioasă a factorilor cantitativi să se asigure o creştere a productivităţii muncii în condiţiile realizării calitative a produselor şi a economiei energetice.

• Aspecte cantitative

Nivelul de iluminare

La spaţiile industriale, acesta este impus, în exclusivitate, de sarcina vizuală caracteristică (tab. I.11.1).

Distribuţia fluxului luminos

În general, datorită înălţimii mari a halelor industriale, distribuţia directă este cea mai economică şi recomandabilă pentru sarcinile vizuale obişnuite.

Pentru unele încăperi industriale de înălţime mică, unde sarcinile vizuale presupun o precizie ridicată, trebuie să se creeze condiţi suplimentare de confort. Aceasta se realizează printr-o proporţie de flux superior mai mare utilizând aparate cu distribuţie semidirectă.

Pentru cazuri cu totul speciale, unde procesul tehnologic o cere (mecanică foarte fină), la punctele de control, ghidul CIE recomandă chiar un iluminat adiţional indirect de echilibrare a distribuţiei luminanţelor.

Soluţia este oneroasă din punct de vedere al consumului de energie electrică şi se aplică numai după un calcul tehnico-economic atent.

• Aspecte calitative

Distribuţia luminanţelor în câmpul vizual constă în evitarea orbirii directe, reflectate şi o judicioasă gradare a umbrelor.

Evitarea orbirii directe se realizează în halele înalte, printr-o corectă alegere a ansamblului aparat de iluminat - sursă, care să asigure unghiul de protecţie vizuală corespunzător, iar în halele de înălţime mică, mărimea luminanţei plafonului este o soluţie uneori acceptabilă.

Evitarea orbirii reflectate pune probleme dificile în halele industriale înalte. Orbirea reflectată poate fi diminuată sau eliminată prin orientarea aparatelor de iluminat în aşa fel încât intensitatea reflectată să nu coincidă cu linia privirii (amplasarea AIL în stânga observatorului cu un unghi de incidenţă mai mare de 25°).

Orientarea corespunzătoare a iluminatului local contribuie în mod eficient la modelarea sarcinilor vizuale tridimensionale.

Culoarea luminii este impusă, în general, de necesităţile de redare a culorilor specifice, sarcinilor vizuale colorate din anumite domenii industriale (textile, coloranţi etc.). În general, dacă nu sunt necesităţi de redare, la halele industriale de înălţime mică se recomandă utilizarea lămpilor fluorescente de culoare neutră, iar la halele înalte lămpile cu vapori de mercur sau sodiu de înaltă presiune.

Se preferă culoarea neutră-rece la halele puternic vitrate sau cu luminatoare şi culoarea neutră pentru halele cu vitrare moderată sau nevitrate.

• Caracteristicile sistemelor de iluminat pentru spaţii industriale

Aspectele cantitative şi calitative enunţate au definit, de fapt, caracteristicile sistemului care va trebui să fie ales, încât să realizeze exigenţele impuse.

În general, în funcţie de înălţimea încăperii se definesc:
- spaţii (hale) industriale de înălţime mică sau medie (h < 6 m);
- spaţii (hale) industriale înalte (h > 6 m).

În conformitate cu cele enunţate la cap. 6, în iluminatul spaţiilor industriale se utilizează unul din următoarele sisteme:
- general uniform distribuit;
- localizat/zonat;
- combinat.

Sistemul de iluminat general uniform distribuit este specific halelor înalte cu procese de fabricaţie de aceeaşi categorie (aceeaşi sarcină vizuală de precizie mică şi medie, uniform distribuită pe suprafaţa utilă).

Câteva exemple de utilizare: hale din industria metalurgică, siderurgică, halele echipate cu maşini şi utilaje mari din construcţia de maşini, hale destinate realizării prefabricatelor din construcţii ş.a.

În fig. I.11.37 este dată o secţiune printr-o hală industrială înaltă. Se remarcă montarea AIL deasupra podului rulant, care, de regulă, este utilizat şi pentru întreţinerea acestora şi schimbarea surselor. De asemenea, montarea AIL în acest caz general se face pe elementele de construcţii existente (ferme, grinzi cu zăbrele, grinzi din beton armat prefabricate) cu prindere prin sudare de structurile metalice şi prin dibluri împuşcate în cazul betonului armat; nu sunt admise sisteme de prindere care micşorează rezistenţa mecanică a structurii.

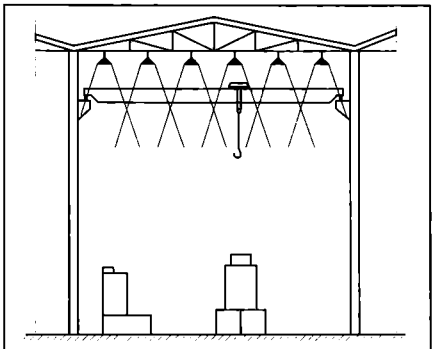


Fig. I.11.37. Secţiune printr-o hală industrială înaltă.

Sistemele de iluminat general localizat şi zonat sunt specifice halelor industriale în care se desfăşoară simultan mai multe procese de fabricaţie sau mai multe operaţii cu sarcini vizuale diferite. Sunt caracterizate printr-o distribuţie neuniformă a iluminărilor determinată de cerinţele tehnologice. De regulă, aceste hale sunt de înălţime mică şi medie.

Sistemele de iluminat combinat (general şi local) sunt specifice locurilor de muncă distribuite neuniform în spaţiul industrial, cu sarcini vizuale diferite. Sunt economice, putându-se realiza niveluri de iluminare ridicate, cu surse de putere mică.

Cele trei tipuri de sisteme se pot realiza cu următoarele tipuri de lămpi:
- fluorescente tubulare în spaţiile de înălţime mică (h = 3...4 m) şi uneori medie (până la 6 m);
- cu vapori de mercur sau sodiu de înaltă presiune în halele înalte, fără necesităţi de redare a culorilor;
- cu vapori de mercur de înaltă presiune şi adaosuri de halogenuri metalice în halele înalte cu necesităţi de redare corectă a culorilor.

Amplasarea AIL cu lămpi fluorescente se realizează, de regulă, în şir cu sau fără intervale, în funcţie de nivelul de iluminare. Pentru obţinerea unei distribuţii uniforme se recomandă respectarea distanţelor indicate în fig. I.11.38.

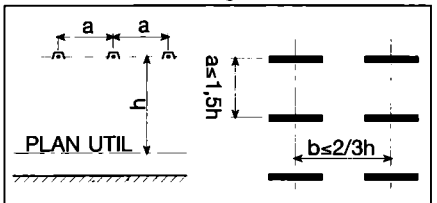


Fig. I.11.38. Distanţe recomandate pentru realizarea uniformităţii iluminărilor în planul util.

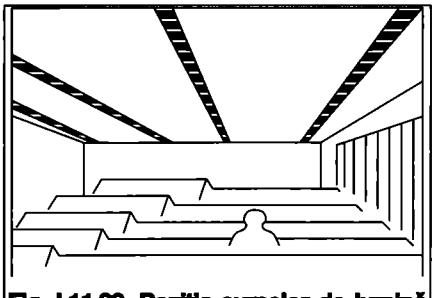


Fig. I.11.39. Poziţia surselor de lumină paralele cu direcţia vizuală a lucrătorului.

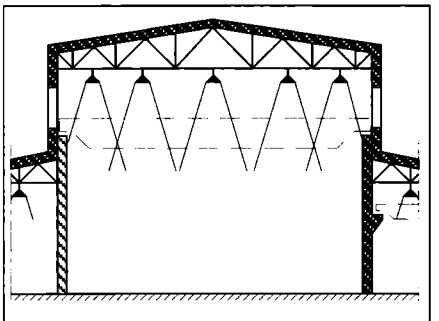


Fig. I.11.40. Hală industrială cu luminatoarele laterale.

Din punctul de vedere al direcţionării luminii şi al evitării orbirii reflectate, amplasarea paralelă cu direcţia vizuală este cea mai recomandată (fig. I.11.39).

De menţionat că, dacă înălţimea este mai mare, AIL cu distribuţie directă sunt cele corespunzătoare atunci când nu sunt exigenţe speciale (de exemplu, aparatul de iluminat FIRA tip ELBA).

Pentru asigurarea elasticităţii sistemului de iluminat, la schimbarea tehnologiei de fabricaţie, care implică şi schimbarea poziţiei utilajelor, se recomandă utilizarea structurilor spaţiale pentru montarea AIL şi conductelor electrice ca soluţia cea mai bună.

La halele industriale ce au luminatoare laterale (§ 6), trebuie să se realizeze un sistem integrat de iluminat natural şi electric (cu comandă manuală sau automată) pentru utilizarea optimă a contribuţiei iluminatului natural (fig. I.11.40). Conectarea AIL se face în trepte pe linii paralele cu luminatoarele pentru a da posibilitatea unei reglări în funcţie de variaţia luminii diurne (fiecare şir poate fi conectat separat), creând un sistem integrat.

La halele industriale cu şeduri (fig. I.11.41), în general, de înălţime sub 6 m, montarea AIL se poate realiza paralel sau perpendicular faţă de poziţia spaţiilor vitrate.

Montarea paralelă prezintă următoarele avantaje:
- funcţional, oferă posibilitatea integrării cu iluminatul natural;
- de confort, deoarece iluminatul electric are aceeaşi direcţie şi acelaşi sens cu iluminatul natural;
- constructiv, este mai simplu de realizat prin fixarea în lungul structurii orizontale.

În cazul încăperilor în care, datorită procesului de muncă, trebuie să se asigure un climat cu parametrii termofizici constanţi, se recomandă utilizarea sistemelor integrate de iluminat, încălzire şi ventilare.

Iluminatul local industrial se poate alege, în general, pe baza schemelor din fig. I.11.42 (recomandate de ghidul CIE de iluminat interior), care cuprinde indicaţii pentru sistemele de iluminat local în funcţie de caracteristicile sarcinilor vizuale dificile.

Prin iluminatul local se urmăresc, cantitativ şi calitativ, următoarele aspecte:
- mărirea nivelului de iluminare necesar sarcinii vizuale şi fondului de lucru;
- direcţionarea iluminatului atât pentru modelarea sarcinilor tridimensionale şi evitarea orbirii reflectate sub toate formele sale, cât şi pentru realizarea contrastului necesar distingerii corecte a detaliilor;
- evitarea inconfortului la sarcinile vizuale în mişcare rapidă sau periodică, când sursele cu descărcări nu pot fi utilizate;
- economie de energie electrică.

Sarcinile vizuale care necesită un iluminat local (suplimentar) se folosesc pentru controlul (fig. I.11.42):
a - dimensiunilor unor piese;
b - obiectelor mici sau ansamblurilor de piese foarte mici;
c - reliefului şi suprafeţelor cu neregularităţi;
d - unor părţi în mişcare aparţinând unor maşini;
e - unor materiale transparente (sticlă).

În cazurile a şi b, se pot utiliza lentile de mărire sau sisteme de proiecţie pe ecran pentru a putea realiza controlul;
f - efectul de direcţionare a luminii are ca rezultat modelarea sarcinii vizuale tridimensionale precum şi scoaterea în evidenţă a neregularităţii unor suprafeţe;
g' - utilizarea surselor variabile pe baza efectului stroboscopic pentru observarea sarcinii vizuale;
g'' - utilizarea efectului de siluetă dă rezultate foarte bune, în special, când este combinat cu utilizarea luminii monocromatice (lămpi cu vapori de sodiu de joasă presiune).

Radiaţiile ultraviolete pun în evidenţă fisurile din metal, plastic sau materiale

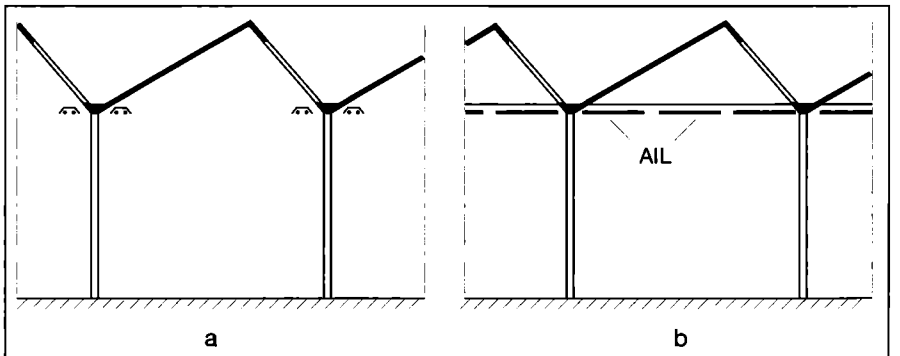


Fig. I.11.41. Hală industrială cu şeduri:
a - montarea AIL paralelă cu poziţia luminatoarelor;
b - montarea AIL perpendiculară pe poziţia luminatoarelor.

ceramice, cu condiția ca sursa de radiații să fie ascunsă de ochiul uman pentru a nu-l agresa.

Lumina polarizată permite investigarea detectelor de neuniformitate și deformare din sticlă, lentile, tuburi T.V., plastice transparente ș.a.

Aparatele de iluminat destinate iluminatului local trebuie să îndeplinească condiții speciale ca: flexibilitatea (adaptabilitatea permanentă la sarcini), mobilitatea (schimbarea locului în funcție de necesități), protecția vizuală, protecția mecanică și protecția împotriva electrocutării.

• Particularități ale sistemelor de iluminat determinate de degajările ce pot apărea în procesele de producție

În anumite medii industriale, datorită proceselor tehnologice, pot apărea degajări mai mult sau mai puțin agresive pentru SIL ca: umiditatea, praful, gazele inflamabile sau explozibile. În asemenea situații se impun măsuri speciale de protecție atât pentru aparatele de iluminat și surse, cât și pentru instalația electrică de alimentare.

Sistemul de iluminat, în special prin aparatele de iluminat, trebuie să asigure protecția:
- omului, împotriva electrocutării;
- echipamentului de iluminat, împotriva degradării datorită agresivității mediului;
- mediului, împotriva exploziei sau incendiului;
- împotriva pătrunderii prafului sau a altor particule;
- împotriva pătrunderii apei.

Gradul de protecție a aparatelor de iluminat în funcție de caracteristicile mediului în care se montează conform Comisiei Electrotehnice Internaționale (IEC) este dat în tabelul I.11.9.

În cazul în care nu pot fi procurate aparatele de iluminat corespunzătoare, este necesară utilizarea iluminatului din exterior prin nișe etanșate cu geam incasabil dublu.

Degajările de căldură trebuie luate în considerare în alegerea echipamentului sistemului de iluminat.

Astfel, la temperaturi joase (de exemplu, depozite frigorifice) trebuie să se țină seama de limita de temperatură inferioară a pornirii lămpilor fluorescente și de faptul că fluxul luminos emis scade cu temperatura. În astfel de cazuri este indicată utilizarea surselor cu descărcări în vapori metalici de înaltă presiune neinfluențate semnificativ de temperaturile scăzute. De asemenea, lămpile cu incandescență pot fi utilizate în astfel de situații, caracteristicile lor luminotehnice nefiind afectate de temperaturile joase.

La temperaturi ridicate, fluxul lămpi-

Tabelul I.11.9. Alegerea AIL în funcție de mediu (cu pericol de explozie sau incendiu)

Categ. încăperii	Caracteristica mediului	Caracteristica aparatului de iluminat necesar fixe	mobile	Observații
EIO	Amestecuri explozive sau vapori inflamabili: permanente în funcționare normală	Exd	Exd	
EI	Amestecuri explozive sau vapori inflamabili: periodic sau intermitent în funcționare normală	Exd	Exd	
EI_a	Amestecurile explozive sau vaporii inflamabili sunt vehiculați în instalații închise și apar în interior în caz de avarie	Exe	Exd	
EI_b	Idem EI_a cu personal de supraveghere care pune în funcțiune, la avarie, ventilarea mecanică de evacuare	Exe sau IP54	Exd	
EII	Praf combustibil permanent, periodic sau intermitent în funcționare normală, ce poate provoca amestecuri inflamabile sau explozive	IP54	IP54	
EII_a	Praful combustibil se depune pe echipamentul electric în cantități suficiente pentru a produce inflamarea datorită măririi rezistenței termice a carcasei	IP54	IP54	
EIII	Degajări de fibre sau scame inflamabile în suspensie în aer putând forma amestecuri explozibile	IP54	IP54	Temp. max. la suprafețe <135 °C
$EIII_a$	Fibre sau scame inflamabile depozitate sau manipulate	IP54	IP54	Temp. max. la suprafețe <135 °C

Obs: AIL montate cu tije se prevăd cu dispozitive de fixare împotriva pendulării.

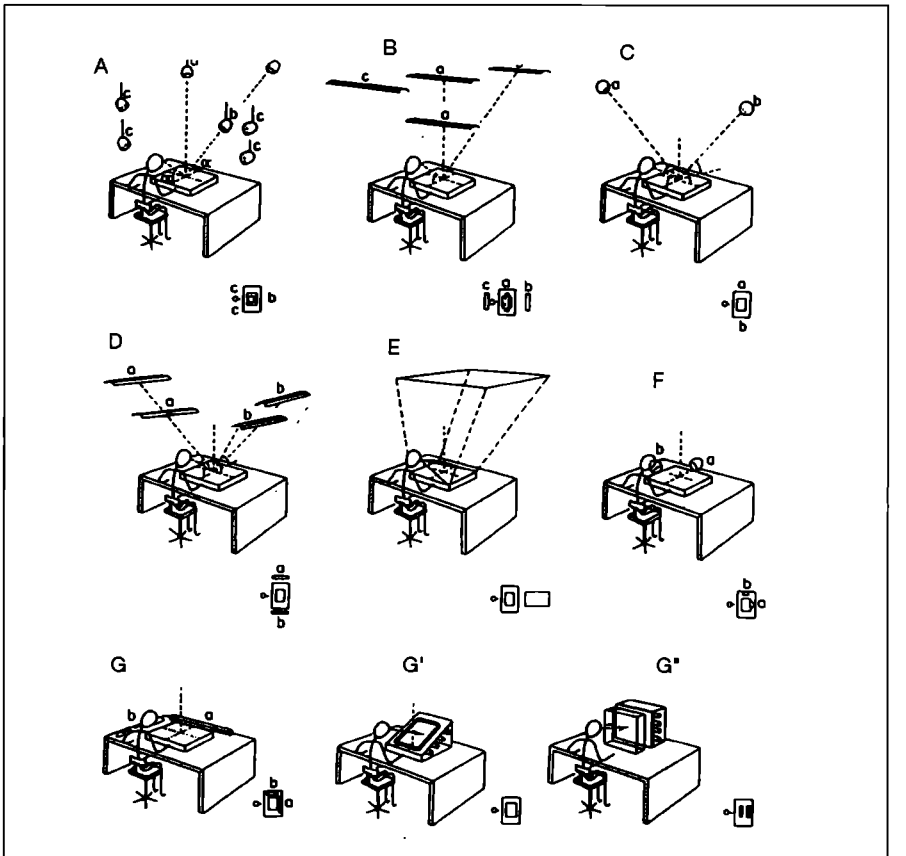


Fig. I.11.42. Sisteme de iluminat local tip, după Ghidul CIE.

lor fluorescente scade, iar balastul tuturor lămpilor cu descărcări se poate degrada. De aceea, este necesară respectarea limitei de temperatură a balastului, indicată de fabricant, iar aparatele de iluminat nu se amplasează în zonele cu mari degajări de căldură (de exemplu, deasupra cazanelor din centralele termice, deasupra cuptoarelor de topire a metalelor ş.a.).

• Menţinerea sistemelor de iluminat industrial

În mediul industrial unde degajările de praf, umiditate, scame ş.a. sunt intense, este importantă problema menţinerii constante în timp a iluminării.

Pentru aceasta sistemul trebuie să prevadă modul de acces la aparatele de iluminat, pentru curăţirea lor şi a surselor, precum şi înlocuirea acestora din urmă. Probleme dificile apar la halele industriale înalte în care, dacă nu există poduri rulante ce pot fi folosite şi în scopul întreţinerii, trebuie create rampe şi pasarele de acces.

Periodicitatea curăţirii ansamblului sursă-AIL este indicată în standardul 6646/2. De asemenea, este necesară curăţirea şi zugrăvirea suprafeţelor reflectante din încăpere care contribuie la menţinerea iluminării.

11.2.8. Săli de sport

Sistemele de iluminat destinate sălilor de sport trebuie să realizeze un mediu luminos confortabil pentru cele două grupe de participanţi, sportivi şi spectatori, determinate, pe lângă condiţiile obişnuite, de viteza mare de deplasare a sportivilor şi, eventual, a mingii (la jocuri), precum şi de rapiditatea mişcărilor.

Sălile de sport pot fi clasificate, din punctul de vedere al funcţiunii, în patru categorii:
- jocuri sau competiţii cu public;
- antrenamente sau competiţii fără public;
- funcţiune dublă (competiţii şi antrenamente);
- anexe ale instituţiilor de învăţământ, întreprinderilor, locuinţe ş.a.

Din punct de vedere al utilizării, sălile pot fi: unifuncţionale sau multifuncţionale.

Sistemele de iluminat trebuie să corespundă destinaţiei şi utilizării lor.

• Condiţii cantitative

În tabelul I.11.10 sunt indicate principalele caracteristici cantitative ale sistemelor de iluminat pentru câteva tipuri de săli de sport, în funcţie de nivelul de activitate al acestora.

Distribuţia fluxului luminos, pentru a realiza eficienţa economică a sistemului, este în marea majoritate a sistemelor de tip direct. Rareori (la săli de înălţime mică, destinate natatiei sau în situaţii speciale-săli cu acoperire gonflabilă), se poate utiliza distribuţia indirectă a fluxului luminos.

Pentru mărirea gradului de confort la sălile de înălţime mică se recomandă şi o componentă de flux superior.

• Condiţii calitative

Realizarea unei bune *distribuţii a luminanţelor* în câmpul vizual al sportivilor de pe terenul de joc este de cele mai multe ori o problemă dificilă - aceştia fiind nevoiţi să privească şi către plafon unde sunt montate aparatele de iluminat.

Pentru sălile cu înălţime mică sau medie (6...7 m) se recomandă lămpile fluorescente montate în aparate cu difuzoare. Aparatele de iluminat se amplasează pe şiruri paralele cu direcţia de joc.

Diminuarea orbirii psihologice se poate realiza fie prin creşterea componentei de flux superior, fie prin alegerea unor finisaje ale suprafeţelor reflectante (pereţi, tavan etc.) în culori calde, estompate şi mate.

Distribuţia luminanţelor pe suprafaţa de joc se realizează dacă se respectă factorii de uniformitate a iluminării, menţionaţi în tabelul I.11.10.

Culoarea luminii

În general, în sălile de sport se cere o bună redare a culorilor, atât pentru necesităţile de confort ale spectatorilor şi jucătorilor, cât şi pentru transmisiile TV, filmările color (la sălile mari şi importante).

Astfel, sursele de lumină vor fi fie lămpile fluorescente (la înălţimi mici) cu un indice de redare foarte bun, fie lămpile cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune şi adaosuri de halogenuri.

Pentru sălile obişnuite aferente instituţiilor de învăţământ sau întreprinderilor se pot utiliza şi lămpile fluorescente de culoare aparentă neutră cu eficacitate luminoasă mare şi redare acceptabilă.

Culoarea suprafeţelor reflectante trebuie să fie caldă, estompată şi cu reflectanţele: 0,6 pentru plafon; 0,4...0,6 pentru pereţi şi sub 0,25 pentru pardoseală. Excepţie fac sălile pentru jocurile cu viteză mare a mingii (tenis, volei, badminton) unde pereţii trebuie să fie de culoare rece neutră (gri) în aşa fel încât mingea, faţă de fond, să aibă contrastul necesar distingerii.

Modelarea are rolul funcţional de distingere a mingii în jocuri şi a conturării corpului uman (gimnastică, patinaj artistic ş.a).

Sistemele de iluminat cu AIL pe şiruri de lumină asigură o bună modelare, dacă

Tabelul I.11.10. Caracteristicile luminotehnice ale sistemelor de iluminat din sălile de sport

Sport	Nivelul de activitate	E [lx]	E_{min}/E_{mx}	E_{min}/E_m	Ra	T_c [K]
Baschet, handbal	antrenamente	200	0,3	0,5	65	2000
	-competiţii naţionale	300	0,4	0,5	65	4000
	-competiţii internaţionale	500	0,5	0,7	65	4000
Fotbal	antrenamente	300	0,4	0,6	65	4000
	-competiţii naţionale	400	0,5	0,7	65	4000
	-competiţii internaţionale	600	0,5	0,7	65	4000
Gimnastică	antrenamente	300	0,4	0,6	65	4000
	-competiţii naţionale	400	0,5	0,7	65	4000
	-competiţii internaţionale	600	0,5	0,7	65	4000
Box şi arte marţiale	antrenamente	500	0,4	0,6	65	4000
	-competiţii naţionale	1000	0,5	0,7	65	4000
	-competiţii internaţionale	2000	0,5	0,7	65	4000
Natatie	antrenamente	600	0,5	0,6	60	4000
	-competiţii naţionale	750	0,6	0,7	60	4000
	-competiţii internaţionale	1000	0,6	0,7	60	4000
Tenis	antrenamente	500	0,4	0,6	65	4000
	-competiţii naţionale	750	0,4	0,6	65	4000
	-competiţii internaţionale	1000	0,4	0,6	65	4000

acestea sunt paralele cu direcția de joc.

La sălile înalte, unde se folosesc surse concentrate de mare intensitate, există riscul unei modelări dure dacă sursa emite într-un unghi solid mic. Se preferă aparate cu distribuție largă.

• Caracteristicile sistemelor de iluminat destinate sălilor de sport

Pentru sălile de sport mici și medii (fără spectatori) se recomandă un sistem de iluminat general uniform distribuit, iar pentru sălile medii sau mari cu spectatori două sisteme de iluminat general uniform distribuit: pentru teren, la un nivel ridicat de iluminare impus de exigențele jocului, în zona publicului, de nivel scăzut.

Pentru anumite sporturi (box, tenis de masă ș.a.) se recomandă un iluminat general localizat pe zona de desfășurare cu un nivel de iluminare mare sau foarte mare.

Săli destinate jocurilor de volei, baschet, tenis, badminton, handbal ș.a.

Așa cum s-a menționat, pentru evitarea orbirii directe, șirurile distribuite lateral și paralel cu direcția de joc reprezintă soluția optimă din punctul de vedere al confortului jucătorului. Vederea unui șir luminos sau, în cel mai defavorabil caz, două șiruri, deranjează mult mai puțin decât privirea unui număr mai mare de surse punctuale sau șiruri transversale pe care jucătorul le-ar putea sesiza în câmpul său vizual central sau periferic.

În fig. I.11.43 se prezintă o soluție de sistem realizat cu două șiruri paralele orientate (1 și 2), formate din aparate de iluminat fluorescente care realizează iluminatul terenului de joc. Pentru iluminatul tribunelor s-au prevăzut aparate de iluminat (3) și (4) montate lateral și care pot fi, eventual, deconectate în timpul desfășurării jocului. Pentru jocurile cu porți de marcare (de exemplu, hochei pe gheață) este necesar un iluminat din față a zonei portarului, în limitele uniformității. Se pot utiliza AIL amplasate lateral în față, pentru evitarea orbirii reflectate (ce ar putea fi produsă de suprafața lucioasă a gheții).

Unghiul ρ de înclinare față de verticală a șirului se determină în urma calculului de dimensionare a sistemului prin încercări pornind de la o înclinare inițială corespunzătoare coliniarității dintre axa optică a AIL (1) cu linia OB și AIL (2) cu linia O'A'. AIL înclinate se pot înlocui cu AIL moderne cu distribuția nesimetrică a fluxului luminos, montate în poziție orizontală.

Șirurile de aparate de iluminat pot fi integrate în plafon dacă condițiile estetice o cer. Pentru sălile multifuncționale înalte sunt recomandate sistemele cu AIL montate în structura zonei superioare echipate cu lămpi de mare putere (de regulă, tip MH) cu redare bună și foarte bună a culorilor. AIL sunt orientate astfel încât să acopere toate necesitățile de nivel de iluminare și uniformitate cerute.

Pentru sălile destinate, exclusiv, jocului de baschet, unde zona de privire în sus este zona coșului, se pot utiliza sisteme cu aparate uniform distribuite, evitând montarea acestora în apropierea coșului.

De asemenea, pentru sălile de gimnastică, patinaj artistic și/sau hochei, se recomandă o distribuție uniformă a aparatelor de iluminat pe toată suprafața plafonului deoarece poziția sportivilor pe teren nu necesită ridicarea privirii spre plafon. În fig. I.11.44 este prezentată o soluție de amplasare cu surse liniare și punctuale valabilă pentru sălile menționate și chiar pentru cele multifuncționale, AIL fluorescente realizând o lumină difuzată care diminuează contrastele AIL-plafon.

Pentru tenisul de masă, este recomandat iluminatul general uniform distribuit (nivel 400...600 lx).

Săli destinate boxului și luptelor

Boxul și luptele marțiale necesită un nivel de iluminare ridicat: 500...2000 lx. Realizarea acestui nivel impune un sistem general localizat fix, dacă sala este destinată, în exclusivitate, boxului și, mobil, dacă sala are și altă destinație.

În fig. I.11.45 se poate urmări structura unui sistem de iluminat general localizat pentru un ring de box sau arte marțiale, distanțele indicate fiind cele minime. Ele pot fi mai mari în funcție de tipul surselor, tipul AIL și posibilităților de amplasare a acestora.

Pista destinată jocului de popice (bowling)

Aceasta se compune din 3 zone distincte: lansare, pistă propriu-zisă și zonă de țintă. Sistemul de iluminat trebuie să fie diferențiat pe cele 3 porțiuni, așa cum se poate urmări în fig. I.11.46.

AIL din zona II și III trebuie să fie mascate privirii jucătorilor pentru a nu produce orbire directă. În acest scop

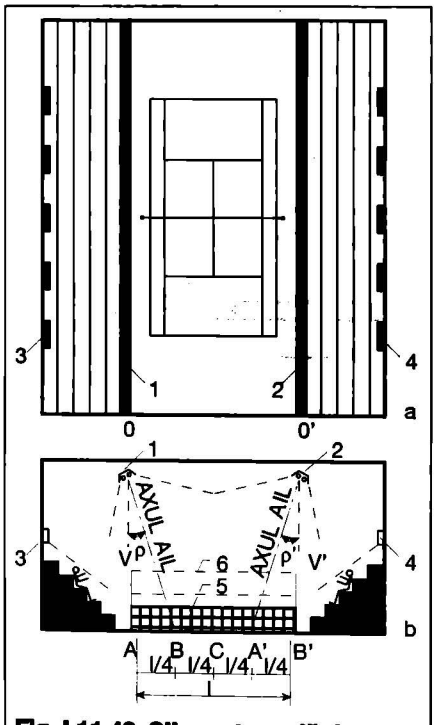


Fig. I.11.43. SIL pentru sală de sport - jocuri (cu public):
a - plan; b - secțiune.

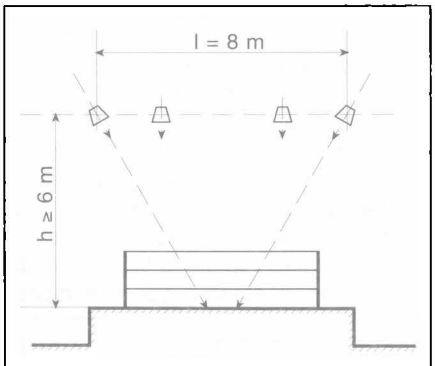


Fig. I.11.45. SIL localizat pentru un ring de box.

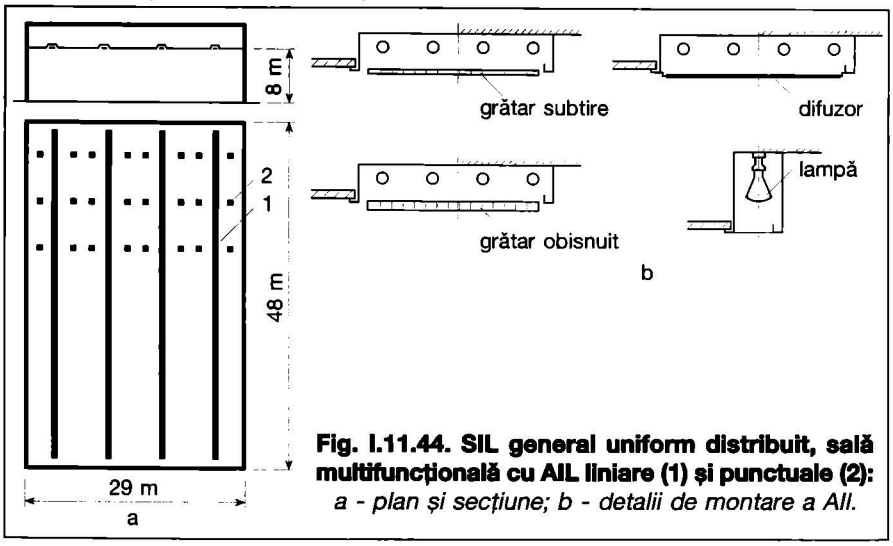


Fig. I.11.44. SIL general uniform distribuit, sală multifuncțională cu AIL liniare (1) și punctuale (2):
a - plan și secțiune; b - detalii de montare a AIl.

se recomandă un plafon având profilul în „dinți de fierăstrău".

Sălile destinate tirului cu arma sau arcul

Nu pun probleme speciale pentru iluminatul sălii, care va fi uniform distribuit, necesitând însă o mărire substanțială a nivelului de iluminare în planul vertical pe suprafața panourilor de țintă (500...1000 lx). Se pot diferenția, de asemenea, 3 zone distincte pentru care condițiile de iluminat diferă:

zona I - locul de tragere;
zona II - culoarul; și
zona III - ținta de tragere (de regulă, marcarea zonelor este realizată pe pardoseala sălii).

AIL trebuie integrate în plafon dublu pentru a nu fi văzute de competitori și pentru evitarea orbirii directe fiziologice.

Săli de natație

Sistemele de iluminat destinate sălilor de natație necesită exigențe speciale datorită apei care poate crea reflexii supărătoare provocând orbire de voal.

În acest scop trebuie realizate următoarele condiții:

- realizarea unui nivel de iluminare, corespunzător normelor, la suprafața apei;
- utilizarea de AIL cu luminanță scăzută (fluorescente liniare cu difuzor) în așa fel încât luminanța acestora să fie cât mai apropiată de luminanța suprafeței apei;
- realizarea unui iluminat lateral al apei, din pereții bazinului, pentru a mări luminanța acesteia și a micșora diferențele de strălucire: aparatele de iluminat trebuie plasate la 0,5...1 m sub nivelul apei; acestea vor fi echipate cu LIH (cu o putere specifică de 150...225 W/m^2), MH (cu 100 W/m^2) LEDuri sau fibre optice;
- realizarea unui iluminat general direct difuzat ce se poate asigura cu AIL fluorescente amplasate pe linii paralele cu axa longitudinală a bazinului ca în fig. I.11.47 pentru un bazin de 25 m lungime; sistemul este economic și eficient, dar nu asigură condițiile de confort optime; - un iluminat general direct ce se poate realiza cu AIL laterale punctuale echipate cu surse MH (fig. I.11.47) care asigură condiții de confort optime.

Iluminatul bazinului, realizat din pereții laterali sub nivelul apei, în afară de confort este necesar pentru urmărirea înotătorilor de către publicul spectator și/sau antrenor, precum și pentru securitate, pentru a evita accidentele în cazul unor situații neprevăzute.

Sunt utilizate AIL, de tip etanș, montate pe cele două laturi longitudinale, la adâncimea menționată, care să asigure reflexia totală a radiației luminoase la suprafața apei.

Pentru bazinele adânci destinate săriturilor de la trambulină este indicată utilizarea unui al doilea șir de AIL montat la h = 3,0 m sub nivelul apei.

Montarea acestor aparate poate fi în nișă:

- uscată realizată etanș și despărțită față de bazin printr-un geam de sticlă groasă (simplă sau dublă);
- umedă, când se utilizează AIL etanșe, montate încastrat în peretele bazinului. Primul sistem oferă avantaje funcționale ca: instalație sigură și controlabilă într-un mediu uscat, accesul simplu prin coridorul de vizitare și reglarea ușoară a AIL către bazin. Al doilea sistem necesită o instalație etanșă pentru AIL și ansamblu (căi de curent). Întreținerea în acest ultim caz, este mai dificilă și nu permite reglarea poziției AIL.

11.3. Comanda manuală și automată a sistemelor de iluminat interior. Managementul în iluminat

Multe spații din clădirile administrative sunt folosite pentru mai multe funcțiuni (birouri, săli de conferințe, amfiteatre etc.). În aceste spații există sarcini vizuale variabile, ceea ce impune utilizarea unui sistem de iluminat flexibil care să satisfacă condițiile de confort vizual și performanță vizuală a utilizatorilor și să permită modificarea dispunerii în spațiu a aparatelor de iluminat în cazul unor schimbări a compartimentării încăperilor. În acest scop se folosesc comenzi electrice de comutare și/sau de reglare.

Strategiile utilizate pentru controlul iluminării includ:

- comenzi manuale;
- sisteme de control prestabilite;
- sisteme de control central.

Comenzile manuale se realizează cu comutatoare (întreruptoare) locale, de perete sau centrale comandate de la tabloul de lumină. Aceste comenzi nu sunt eficiente deoarece sunt dependente de utilizator.

Sistemele de control prestabilite permit comandarea simultană a mai multor circuite de iluminat. Toate canalele sunt programate pentru a asigura două sau trei moduri de funcționare. Aceste sisteme se pot folosi în spațiile multifuncționale (săli de conferințe, amfiteatre, săli de sport etc.).

Sistemele de control central sunt cele mai performante sisteme de reglare.

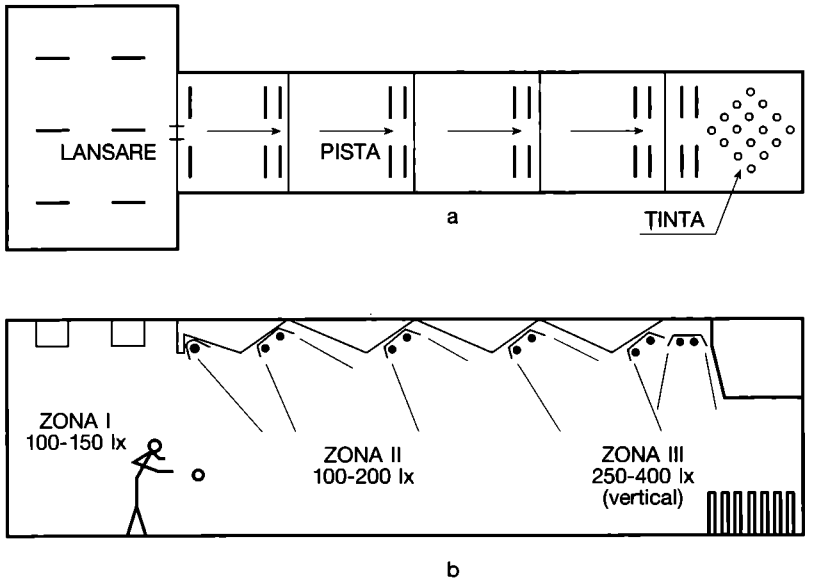


Fig. I.11.46. SIL pentru o pistă de popice (bowling):
a - plan; b - secțiune.

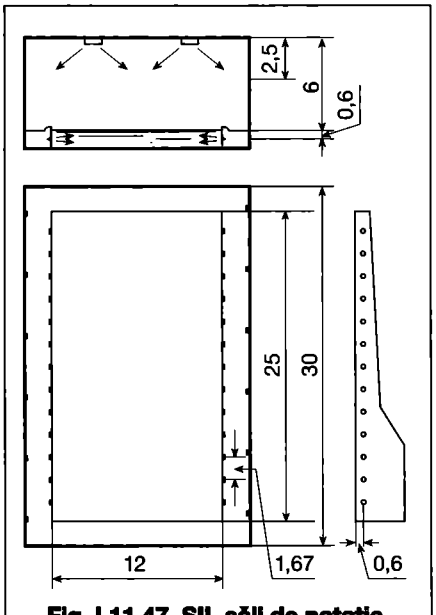


Fig. I.11.47. SIL săli de natație.

Ele au cel puțin un panou central de reglare. Stațiile de control pot include procesoare și mai multe sisteme de control prestabilit sau manual. Aceste sisteme pot folosi senzori de mișcare sau/și celule fotoelectrice ce pot fi conectate la un computer. Unele sisteme permit controlul de la distanță (cu telecomandă) și pot fi conectate la sisteme de transmitere a informațiilor (sisteme audio-vizuale).

Prin utilizarea dispozitivelor modulate de reglaj local a unui computer central și a stațiilor principale de reglaj, se poate controla iluminarea, în timp, din încăperile clădirii.

11.3.1. Sisteme de control utilizate

Toate sistemele și dispozitivele de control al iluminatului se încadrează în două tipuri de bază:
- dispozitive de comutare sau reglare;
- sisteme de control al puterii.

Dispozitivele de comutare sau de reglare includ relee de timp, senzori de ocupare (prezență), celule foto-electrice, întreruptoare de circuit și orice alte aparate de comutare sau de reglare capabile să fie automatizate.

Cu ajutorul dispozitivelor de reglare, iluminarea în fiecare zonă poate fi variată lent sau rapid și continuu astfel încât să răspundă dinamic cerințelor utilizatorilor.

Sistemele de control al puterii reduc puterea în sistemele de iluminat prin reducerea tensiunii de alimentare sau prin modificarea caracteristicilor fizice ale sistemului. Aceste sisteme includ variatoare de tensiune, balasturi electronice, balasturi capacitive și orice alt dispozitiv sau sistem care modifică sau reduce puterea în sistemele de iluminat.

11.3.2. Modul de abordare a controlului iluminării

Sistemele de control al iluminării pot fi implementate în clădiri folosind sisteme locale, centrale sau combinații ale acestora.

Cele două sisteme de abordare se deosebesc prin mărimea zonelor controlate și prin felul în care echipamentul de control este integrat în sistem.

Sistemele locale de control al iluminării se folosesc în zone mici controlabile în mod independent, mărimea și forma zonelor fiind dictată de geometria spațiilor (amplasamentul pereților despărțitori și al ferestrelor), precum și de necesitățile funcționale. Senzorii sunt cuplați la comanda localizată astfel încât fiecare modul este independent de alte module.

Sistemele centrale combină în general mai multe zone locale. Sistemele cu microprocesor central pot comanda fiecare sistem de iluminat al unei clădiri. Aceste sisteme permit controlarea administrării energiei și posibilitatea de monitorizare a unor funcțiuni.

Un avantaj major al sistemelor de control al iluminării constă în faptul că iluminarea poate fi reglată astfel încât să satisfacă cerințele utilizatorilor prin integrarea SIL natural cu cel electric.

Sistemele de control al iluminării cuprind, de regulă, 3 componente principale:
a - dispozitivul de captare (celulă fotosensibilă/ senzori de ocupare) care recepteză semnalul și-l transmite la (b);
b - circuitul logic care recepteză semnalul de la (a) și transmite comanda la (c);
c - controlerul de putere ce primește comanda de la (b) și reglează SIL.

În proiectarea unui sistem de control al iluminării, mărimea și distribuția zonelor de control au un efect important asupra eficienței sistemului de iluminat.

Există o legătură între mărimea zonei de control și costul sistemului. Zonele mai mici sunt mai scumpe din punct de vedere al echipamentului și al costurilor de instalare, dar oferă mai multă flexibilitate și posibilitatea reducerii costurilor de exploatare.

Unele strategii de control sunt adecvate zonelor mici de control (reglarea iluminării în funcție de lumina naturală și de sarcina vizuală), în timp ce programarea și întreținerea sistemului de iluminat sunt adecvate zonelor de control corespunzătoare suprafețelor mari (100...400 m^2).

Un avantaj principal al sistemelor de control al luminii constă în faptul că se pot realiza economii importante de energie, fără afectarea confortului vizual al utilizatorilor.

În fig. I.11.48 este prezentată o schemă bloc de distribuție și control automat al unui sistem integrat. Elementul principal al unui sistem de control centralizat al luminii este computerul central. Acesta este conectat la un tablou central de distribuție și control prin intermediul unei interfețe.

Computerul central procesează datele de intrare, determină modificările cerute și inițiază acțiunea de executare a modificărilor. Acesta răspunde unui număr de condiții complexe de iluminat în spațiu, colectează date cu privire la puterea și folosirea energiei, realizează

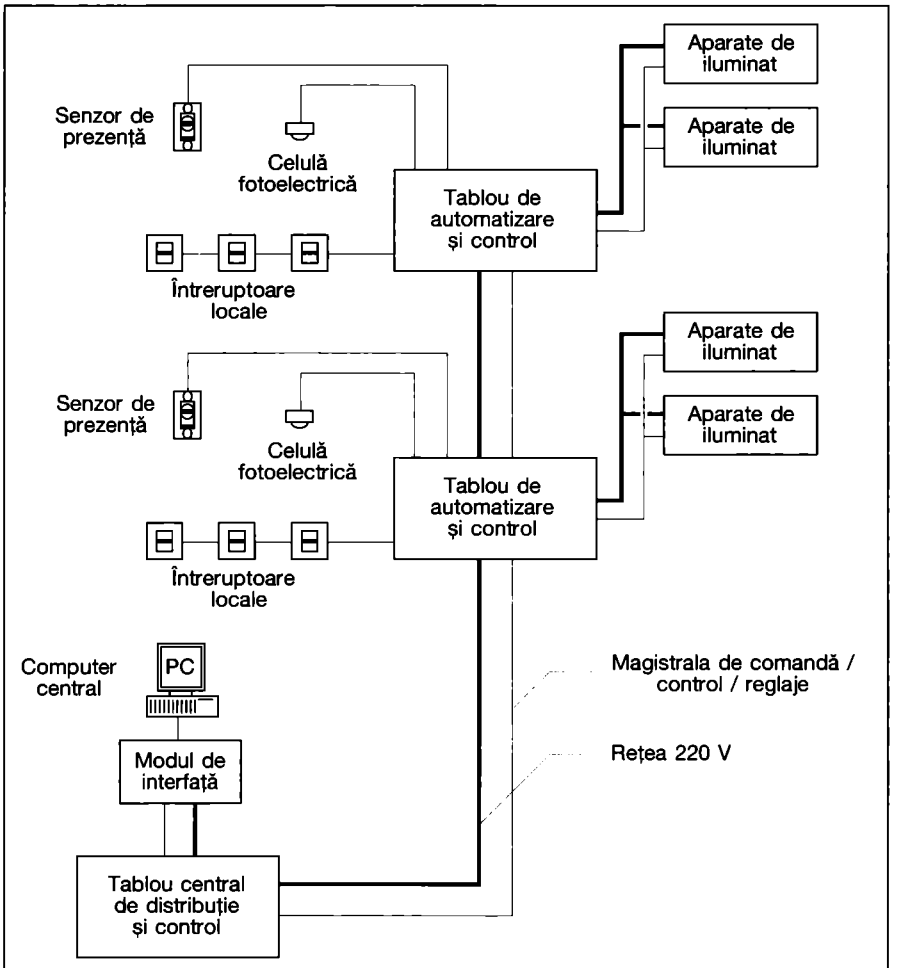


Fig. I.11.48. Schema de distribuție și control automat a unui sistem de iluminat integrat.

rapoarte de administrare a energiei pe întreaga clădire și permite, în orice moment, monitorizarea stării sistemului de iluminat al tuturor încăperilor din clădire. Computerul primește informații de la celulele fotoelectrice și senzorii de prezență conectați în sistem, procesează datele primite pe baza unui program prestabilit și inițiază modificările necesare în sistem. Comenzile de comutare sau reglare inițiate de computer sunt transmise la tablourile de automatizare și control prin magistrala de date. Aceste tablouri comandă, efectiv, aparatele de iluminat din încăperi în funcție de comenzile primite. Aparatele de iluminat echipate cu lămpi cu descărcări trebuie să dispună de balasturi electronice pentru a permite reglarea fină a fluxului luminos în funcție de comenzile primite. În fiecare încăpere există întrerupătoare locale prin care se poate comanda manual sistemul de iluminat.

11.3.3. Managementul în iluminat

Pentru iluminat se consumă o cantitate de energie de circa 8...10 % din energia consumată în clădire.

Sistemele de iluminat degajă o cantitate de căldură suplimentară, reprezentând 4...8 % din sarcina de răcire a sistemelor de condiționare a aerului.

Economia de energie electrică poate fi realizată atât prin reducerea puterii necesare sistemelor de iluminat cât și prin reducerea duratei de funcționare a sistemelor de iluminat.

Energia consumată de sistemele de iluminat trebuie minimizată fără reducerea confortului vizual al utilizatorilor sistemelor respective.

Managementul energiei înglobată în sistemele de iluminat presupune a lua în considerare următoarele elemente:
- sursele și aparatele de lumină utilizate;
- dimensiunile spațiilor ce trebuie iluminate și sarcinile vizuale aferente acestora;
- iluminatul natural al spațiilor din clădire;
- fiabilitatea (menținerea) sistemelor de iluminat din clădire.

Sursele de lumină ale sistemelor de iluminat vor fi cu:
- eficacitate luminoasă ridicată;
- indice de redare a culorilor adecvat fiecărui spațiu;
- durată de utilizare cât mai mare;
- echipamente anexe care să permită reglarea fluxului luminos.

Aparatele de iluminat din astfel de sisteme vor:
- corespunde destinației fiecărui spațiu în care se montează;
- avea randamente cât mai bune;
- permite acționarea separată a fiecărei surse din aparat;
- fi echipate cu reflectoare a căror poziție să se poată regla;
- avea posibilitatea de a modifica poziția sursei în aparat;
- fi integrate în sistemele de ventilare sau condiționare, atunci când aceasta este posibil;
- fi montate pe sisteme flexibile care să permită modificarea ușoară a poziției acestora la shimbarea destinației sau a mobilierului din încăpere.

Sistemul de iluminat al fiecărui spațiu este dimensionat corespunzător destinației sarcinilor vizuale și *dimensiunilor* acestora. De asemenea, este prevăzut cu dispozitive de acționare și reglare a fluxului luminos pentru a permite o utilizare cât mai economică a sistemului pentru diferite sarcini vizuale, în timp, în același spațiu (fără diminuarea condițiilor de confort luminos) și/sau în combinație cu *iluminatul natural*. Această posibilitate de reglare reprezintă, în cea mai mare parte, succesul managementului în iluminat.

Iluminatul natural este prevăzut cu sisteme de reglare (jaluzele, draperii, sticlă absorbantă) pentru a evita orbirea (directă sau de voal) și a controla transferul de căldură cu exteriorul (utilizarea sticlei reflectorizante).

De asemenea, în toate cazurile în care arhitectura permite, se vor utiliza tehnologii avansate pentru accesul controlat al luminii naturale în spațiile interioare, care au atât rolul de a crește nivelul de iluminare și/sau uniformitatea iluminării la interior, concomitent cu evitarea orbirii, cât și rolul de a asigura controlul aporturilor termice solare. Prin implementarea acestor tehnici avansate de iluminat natural, se poate ajunge la economii de energie semnificative, de până la 60-80% din energia electrică sau de 40-60% din energia globală consumată în clădiri.

Menținerea sistemelor de iluminat la parametrii proiectați se realizează prin:
- monitorizarea funcționării sistemelor din fiecare spațiu (lămpi, aparatelor);
- schimbarea surselor de lumină la expirarea duratei de funcționare (pentru a menține permanent confortul în încăperi);
- curățarea aparatelor de iluminat la datele prevăzute la proiectare (în funcție de factorul de menținere).

Managementul energetic al sistemelor de iluminat este cu atât mai eficient cu cât se poate integra într-un „sistem inteligent" de control energetic al clădirii.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 12

Proiectarea sistemelor de iluminat exterior

12.1. Metodologia de proiectare

Proiectarea sistemelor de iluminat exterior este similară, din punct de vedere al concepției și metodologiei, cu cea a sistemelor de iluminat interior, ținându-se seama și în acest caz de aspectele cantitative și calitative ale mediului luminos confortabil.

Un factor important constă în lipsa incintei reflectante și înlocuirea sa cu „incinta neagră", absorbantă, ceea ce, din punct de vedere al calculului, introduce o simplificare - prin aceea că nu se calculează componenta reflectată a iluminării. De asemenea, datorită distanțelor (AIL - suprafață) foarte mari în raport cu dimensiunile AIL, acestea pot fi considerate în toate cazurile, punctiforme.

Concepția sistemelor se realizează după aceeași structură ca aceea din fig. I.11.1, adaptată la cerințele specifice ale sistemelor de iluminat exterior, cu mențiunea că, de exemplu, în sistemele rutiere, „funcționalitatea" reprezintă „siguranța și fluența traficului".

De asemenea, metodologia este similară, menționând că la datele de bază pentru circulația rutieră, este necesară, în general, utilizarea mărimii de referință „luminanța", exceptând anumite zone din circulația rutieră cum ar fi: intersecții cu căi de circulație sau căi ferate, piețe, pasaje, sensuri giratorii nesemnalizate și căi de circulație destinate circulației pietonale, unde mărimea de bază este iluminarea.

12.2. Soluții de sisteme pentru iluminatul exterior

12.2.1. Căi de circulație rutieră

SIL destinate căilor de circulație rutieră se realizează luându-se în considerație viteza mare de deplasare a observatorilor, astfel încât să se asigure o circulație fluentă și sigură.

• Aspecte cantitative

Nivelul de luminanță

Reprezintă condiția cantitativă de bază în iluminatul rutier, fiind dependent de viteza de circulație și de intensitatea traficului rutier.

În publicația NP-062-02 (CIE 115) se recomandă, pentru realizarea unor sisteme de iluminat corespunzătoare destinate drumurilor, utilizarea a 5 clase ale sistemelor de iluminat, M1,...,M5.

Atribuirea unei anumite clase a sistemului de iluminat unui tip de cale de circulație (drum) se face în funcție de următorii factori: intensitatea traficului, complexitatea configurației căii, controlul traficului, separarea anumitor benzi de circulație destinate altor categorii de participanți la trafic (tab. I.12.1 a).

- Intensitatea traficului rutier se referă la valoarea numărului de vehicule/h, bandă și sens care circulă pe un drum; astfel: *traficul redus* presupune mai puțin de 100 vehicule/h, bandă și sens, *traficul mediu* între 100 și 1000 vehicule/h, bandă și sens și *traficul ridicat* peste 1000 de vehicule/h, bandă și sens.
- Complexitatea configurației drumului se referă la infrastructură, modificări ale traficului și vecinătăți; factorii de care trebuie să se țină seama sunt: numărul de benzi de circulație de pe fiecare sens, panta drumului, indicatoarele și panourile de semnalizare rutieră.
- Controlul traficului se referă la existența indicatoarelor și a panourilor de semnalizare rutieră și existența semafoarelor. Acolo unde acestea lipsesc, controlul traficului se apreciază a fi scăzut.
- Separarea anumitor benzi de circulație destinate altor categorii de participanți la trafic se referă la benzile de circulație special destinate unei anumite categorii, cum ar fi: camioane, autobuze, biciclete, pietoni.

Pentru a realiza un ambient luminos, corespunzător, sistemele de iluminat destinate căilor de circulație trebuie să ia în considerare următorii factori:
- nivelul de luminanță și uniformitatea distribuției luminanței pe suprafața drumului;

Tabelul I.12.1a. Clasele sistemelor de iluminat pentru diferite tipuri de căi de circulație

Caracteristicile căilor de circulație	Clasa sistemului de iluminat corespunzător
Căi de circulație destinate traficului cu viteză mare de deplasare, cu sensuri de circulație separate, fără intersecții și cu controlul accesului (autostrăzi, căi de circulație expres).	
Intensitatea traficului și complexitatea configurației căii rutiere:	
Ridicate	M1
Medii	M2
Scăzute	M3
Căi de circulație destinate traficului de viteză mare, cu 2 sensuri de circulație	
Controlul traficului și separarea benzilor de circulație:	
Ridicate	M1
Scăzute	M2
Căi de circulație urbane cu trafic important, căi de circulație radiale	
Controlul traficului și separarea benzilor de circulație:	
Ridicate	M2
Scăzute	M3
Căi de circulație urbane cu trafic mai puțin important și de acces în zonele rezidențiale	
Controlul traficului și separarea benzilor de circulație:	
Ridicate	M4
Scăzute	M5

Tabelul I.12.1b. Valorile mărimilor de referință

Clasa sistemului de iluminat	Domeniul de aplicare				
		toate căile de circulație		căi de circulație fără intersecții	căi de circulație cu trotuare neiluminate
	L_m[cd/m^2] val. admisă	U_0 val. minimă	TI[%] val. maximă	U_l val. minimă	SR* val. minimă
M1	2,0	0,4	10	0,7	0.5
M2	1,5	0,4	10	0,7	0.5
M3	1,0	0,4	10	0,5	0.5
M4	0,75	0,4	15	-	-
M5	0,5	0,4	15	-	-

*) Surrounding Ratio-raport de zonă alăturată, definit ca raportul dintre iluminarea medie pe zona alăturată drumului (o lățime de 5 m) și iluminarea medie pe zona marginală a drumului (pe o lățime de 5 m).

- nivelul de iluminare al vecinătăților;
- limitarea orbirii psihologice și fiziologice;
- ghidarea vizuală.

Primii 3 factori din enumerarea de mai sus pot fi controlați prin valori limită, corespunzătoare claselor sistemelor de iluminat M1,...,M5. Aceste valori recomandate de CIE sunt prezentate în tabelul I.12.1 b.

Nivelul de iluminare

Pentru anumite zone destinate circulației rutiere cum ar fi: intersecții cu alte căi de circulație sau căi ferate, piețe, pasaje, sensuri giratorii nesemnalizate și zone destinate circulației pietonale, unde viteza de deplasare a observatorului este relativ mică în comparație cu cea din circulația rutieră, mărimea care stă la baza calculului sistemelor de iluminat este iluminarea.

Zone periculoase

Sunt zonele în care traficul rutier este îngreunat de prezența unui număr mare de autovehicule, pietoni, ciclişti și alți participanți la trafic sau zone în care căile de circulație se îngustează datorită reducerii numărului de benzi de circulație. În aceste zone, probabilitatea coliziunilor între autovehicule sau între acestea și ceilalți participanți la trafic este mare.

În funcție de tipul zonei periculoase, CIE recomandă 6 clase ale sistemelor de iluminat C0,...,C5 (tab. I.12.2a).

Pentru o zonă periculoasă importantă, clasa sistemului de iluminat C(i-1) este superioară (din punct de vedere al cerințelor luminotehnice impuse) clasei sistemului de iluminat al celui mai important drum intersectat și căruia îi corespunde clasa sistemului de iluminat Mi. De exemplu, dacă celui mai important drum din zona periculoasă îi corespunde clasa M4, zonei periculoase îi corespunde clasa C3.

Condițiile luminotehnice impuse de clasele sistemelor de iluminat C0,...,C5 sunt prezentate în tabelul I.12.2 b.

Zone pentru pietoni sau ciclişti

Sarcinile vizuale ale pietonilor diferă mult de cele ale conducătorilor auto, deoarece viteza de deplasare este mai mică, timpul de adaptare vizuală este mai mare și obiectele aflate în apropiere sunt mai importante decât cele aflate la distanță.

Realizarea unui ambient luminos corespunzător are ca urmare mărirea securității zonei și a vecinătăților acesteia. Acest lucru este posibil prin alegerea unei clase a sistemului de iluminat corespunzătoare, conform tabelului I.12.3 a.

Valorile iluminărilor recomandate de Comisia Internațională de Iluminat pentru clasele P1...P7 sunt date în tabelul I.12.3b.

• Aspecte calitative

Distribuția echilibrată a luminanțelor în câmpul vizual și în planul drumului este determinantă pentru asigurarea confortului vizual și a securității circulației. Dezechilibrul de luminanțe generează orbire psihologică și fiziologică, creând inconfort și pericol de accidentare. Echilibrul luminanțelor se verifică cantitativ în planul drumului prin coeficienții de uniformitate generală (U_0) și longitudinală (U_l), iar în câmpul vizual prin indicii G, TI % și SR.

Culoarea aparentă a luminii este un factor important în circulația rutieră. Lămpile cu vapori de sodiu sunt cele mai indicate având în vedere sensibilitatea maximă a ochiului la culoarea galbenă.

Astfel, se recomandă pentru căile de circulație destinate traficului cu viteză mare, lămpile cu vapori de sodiu de înaltă presiune care oferă un aspect ambiental cald, deosebit de plăcut, și o redare satisfăcătoare a culorilor pentru necesitățile curente ale circulației rutiere. Pentru zonele din afara orașelor, destinate traficului de viteză mare, pot fi utilizate și lămpile cu vapori de sodiu de joasă presiune (nefiind necesară redarea culorilor).

Redarea bună sau foarte bună a culorilor, în cadrul sistemelor de iluminat destinate circulației rutiere, nu este o condiție necesară, determinante fiind condițiile de vizibilitate și utilizarea eficientă a energiei electrice.

Tabelul I.12.2 a. Clasele sistemelor de iluminat pentru diferite tipuri de zone

Tipul zonei periculoase	Clasa sistemului de iluminat corespunzător
Intersecții de 2 sau mai multe căi de circulație, rampe, zone în care se face reducerea numărului de benzi de circulație	C(i-1)=Mi
Intersecții cu căi ferate sau cu linii de tramvai:	
-simple	Ci=Mi
-complexe	C(i-1)=Mi
Sensuri giratorii fără semnalizare rutieră:	
- complexe sau mari	C1
- de complexitate medie	C2
- simple sau mici	C3
Zone aglomerate (în care traficul se desfășoară greu):	
- complexe sau mari	C1
- de complexitate medie	C2
- simple sau mici	C3

Tabelul I.12.3 a. Clasele sistemelor de iluminat pentru diferite tipuri de căi de circulație destinate pietonilor și ciclistilor

Caracteristicile căilor de circulație pentru pietoni sau ciclişti	Clasa sistemului de iluminat
- Foarte importante	P1
- Greu de utilizat de pietoni sau ciclişti pe timpul nopții	P2
- Moderat utilizate de pietoni sau ciclişti pe timpul nopții	P3
- Rar utilizate de pietoni sau ciclişti pe timpul nopții, în zone rezidențiale	P4
- Rar utilizate de pietoni sau ciclişti pe timpul nopții, în zone rezidențiale, importante arhitectural	P5
- Foarte rar utilizate de pietoni sau ciclişti pe timpul nopții în zone rezidențiale, importante arhitectural	P6
- Unde există numai ghidarea vizuală provenită de la AIL existente	P7

Tabelul I.12.2 b. Condiții luminotehnice impuse de clasele sistemelor de iluminat C

Clasa sistemului de iluminat	E_m valoare admisă [lx]	U_0 (E) valoare minimă
C0	50,0	0,4
C1	30,0	0,4
C2	20,0	0,4
C3	15,0	0,4
C4	10,0	0,4
C5	7,5	0,4

Tabelul I.12.3 b. Valorile nivelurilor de iluminare pentru clasele sistemului de iluminat (P)

Clasa sistemului de iluminat	E_m [lx] valoare admisă	E_{min} [lx] valoare minimă
P1	20,0	7,5
P2	10,0	3,0
P3	7,5	1,5
P4	5,0	1,0
P5	3,0	0,6
P6	1,5	0,2
P7	fără valoare impusă	fără valoare impusă

Realizarea unui ambient orășenesc estetic și atractiv se face menținând aceeași culoare pe toată aria orașului, de preferință culoarea aparentă caldă, obținută prin utilizarea sursei de lumină cu descărcări în vapori de sodiu de înaltă presiune.

Soluții cu amestec de culori (surse diferite) creează distorsiuni cromatice inestetice.

Ghidarea vizuală în circulația rutieră este determinantă pentru asigurarea securității traficului, având rolul de a realiza recunoașterea rapidă, din mers, a traseului. Se obține utilizând soluțiile indicate în continuare.

• Aspecte caracteristice

Sistemele pentru iluminatul rutier sunt, de regulă, sisteme uniform distribuite. Clasificarea acestora este redată în fig. I.12.1.

Amplasarea unilaterală este utilizată în cazul străzilor înguste, cu lățimea străzii (l) egală cu înălțimea de montare a AIL ($l=h$) și o înălțime de montare maximă de 12 m. În fig. I.12.2 este reprezentat un SIL cu amplasare unilaterală a AIL. El se caracterizează printr-o distribuție neuniformă a luminanțelor și o marcare neuniformă a bordurii (se vede mai bine bordura opusă AIL).

Amplasarea bilaterală, alternată, (fig. I.12.3) se utilizează pentru străzi cu lățimea cuprinsă între 12 și 16 m și lățimea ≤ 1,5 h. Adoptarea unei astfel de soluții are ca rezultat realizarea unei distribuții uniforme a luminanțelor în planul util, o mai bună marcare a bordurii trotuarelor și a semnelor de circulație aflate pe părțile laterale ale arterelor de circulație (fig. I.12.3).

Utilizarea sistemelor de iluminat de tip bilateral, (fig. I.12.4) față în față, se recomandă la străzi mai largi de 16 m și $l \geq 1{,}5 \cdot h$, străzi foarte largi cu 2, 3, 4 și 5 benzi de circulație pe sens.

Este soluția care asigură, în acest caz, o distribuție uniformă a luminanțelor în planul drumului. Se realizează, de asemenea, o marcare foarte bună a bordurii trotuarelor.

Amplasarea axială (fig. I.12.5) se utilizează în cazul în care există cel puțin una din următoarele situații:

- străzi înguste unde, datorită clădirilor existente, amplasarea stâlpilor nu se poate face pe părțile laterale ale căii rutiere (este cazul străzilor din zonele vechi ale orașelor);
- existența unei vegetații abundente, motiv pentru care AIL nu se pot amplasa unilateral sau bilateral.

În primul caz (fig. I.12.5) aparatele sunt suspendate pe cabluri fixate pe clădirile aflate în imediata vecinătate a străzii. Se realizează o uniformitate corespunzătoare a luminanțelor în planul util, datorită componentei reflectate a iluminării dată de suprafețele laterale.

În cazul unei vegetații abundente, existente pe ambele laturi, amplasarea axială este singura soluție, cu dezavantajul că, în cele mai multe cazuri, amplasarea AIL se face la înălțimi mici, astfel încât acestea se află la periferia câmpului vizual central al conducătorului auto. De aceea trebuie utilizate AIL cu unghi de protecție mare. În acest caz, fixarea cablurilor pe care sunt suspendate AIL se face pe stâlpi special realizați sau utilizați în transportul electric (tramvai și troleibuz), atunci când aceștia există, și sunt amplasați față în față. Utilizarea în comun a acestor stâlpi (pentru transportul electric și iluminatul rutier) se evită ori de câte ori este posibil, deoarece AIL sunt supuse, timp îndelungat, la trepidații, cu efecte negative asupra ansamblului AIL - sursă. Amplasarea axială oferă un ghidaj vizual foarte bun. Prezența arborilor pe marginea străzilor impune alegerea unor soluții diferite de cele menționate. Aparatele de iluminat vor fi astfel amplasate încât arborii din apropiere să nu producă umbre pe drum. Se recomandă tunderea coroanei copacilor, periodic, pentru a menține distribuția inițială a fluxului luminos și menținerea uniformității distribuției luminanțelor în planul util.

În funcție de lățimea și profilul autostrăzii, precum și de intensitatea traficului rutier, se alege și se utilizează unul dintre următoarele sisteme de iluminat: central, bilateral, față în față, sau catenar.

Sistemul central se utilizează pentru autostrăzile cu un număr mic de benzi de circulație pe sens și se realizează prin amplasarea stâlpilor cu două brațe în zona axială de securitate (fig. I.12.6 a).

Sistemul bilateral, față în față, se utilizează în cazul autostrăzilor cu trei sau mai multe benzi de circulație pe sens, în scopul realizării unei distribuții uniforme a luminanțelor în planul căii de rulare (fig. I.12.6 b).

Sistemul catenar se realizează prin suspendarea AIL, pe cablu, între stâlpii de susținere amplasați în zona centrală. Soluția este utilizată în cazul autostrăzilor mai înguste. SIL catenar prezentat în fig. I.12.7 (vedere transversală) asigură o excelentă ghidare vizuală, o excelentă uniformitate și un nivel scăzut de orbire față de celelalte sisteme. Distanța dintre stâlpi este de 60...90 m, iar distanța dintre AIL este d = 10...20 m.

Zone particulare din circulația rutieră

Pe anumite porțiuni ale arterelor de circulație este necesară o dispunere a AIL impusă de caracteristicile acelei porțiuni de arteră, astfel încât SIL să satisfacă necesitățile vizuale ale conducătorului auto. În această situație, în care caracteristicile geometrice ale șoselei se schimbă, se solicită o aten-

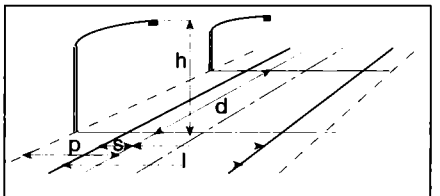


Fig. I.12.2. SIL unilateral:
l - lățimea străzii; h - înălțimea de montare a AIL; d - distanța dintre două aparate consecutive; p - mărimea proiecției consolei AIL; s - distanța de la bordură la proiecția AIL pe drum.



Fig. I.12.3. SIL bilateral alternat.

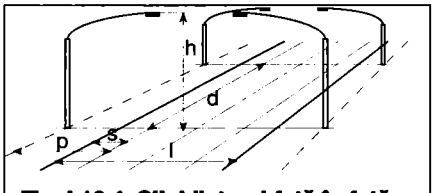


Fig. I.12.4. SIL bilateral față în față.

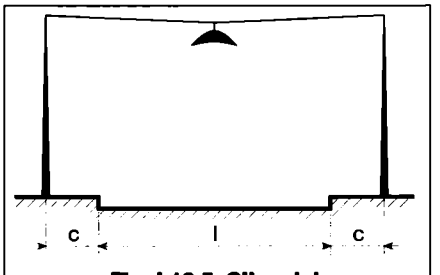


Fig. I.12.5. SIL axial:
l - lățimea drumului; c - distanța de la stâlp la bordură.

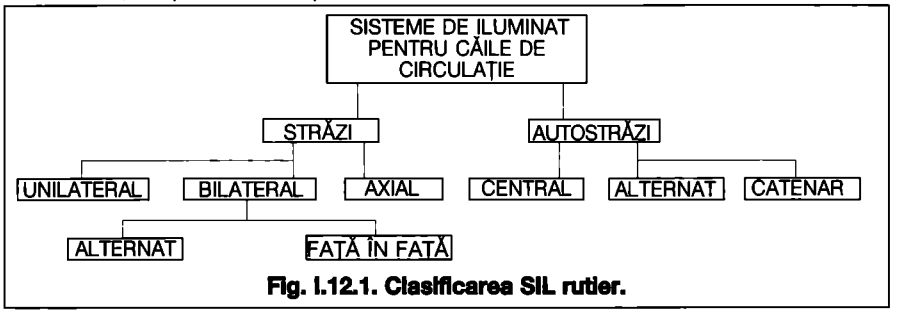


Fig. I.12.1. Clasificarea SIL rutier.

ție mărită din partea conducătorului auto, în scopul depistării eventualelor obstacole în timp util pentru a le evita. Cazurile particulare sunt: curbele, pantele, intersecțiile (drumuri și căi ferate), treceri de pietoni, poduri, parcări.

Zone în curbă ale arterelor de circulație

În zonele de curbură ale șoselelor, dispunerea AIL se face astfel încât să fie asigurată, preferențial, ghidarea vizuală. În cazul în care raza de curbură a drumului este r > 300 m, SIL se realizează tratând această zonă în curbă ca un aliniament drept.

Pentru zone cu raza de curbură mică, r ≤ 300 m, se adoptă soluția amplasării unilaterale a AIL pe partea exterioară a curbei, pentru a marca corespunzător zona arterei de circulație (fig. I.12.8 b). Amplasarea pe ambele părți ale drumului creează o imagine suprapusă neclară (fig. I.12.8 a), derutantă pentru conducătorul auto. Amplasarea pe partea interioară poate conduce la accidente provocate de ieșirea din arteră, dacă sursele de lumină sunt mascate privirii de obstacole, ca în fig. I.12.8 c (vedere) și I.12.8 d (plan). Observatorul O de la volan nu poate urmări vizual conturul drumului prin urmărirea surselor de lumină. Se menționează că acest tip de ghidare vizuală își îndeplinește rolul și în timpul zilei.

Amplasarea AIL pe partea interioară a curbei se poate face numai în cazul în care condițiile existente în teren nu permit amplasarea AIL pe partea exterioară a curbei, dar marcarea curbei nu se realizează corespunzător, existând pericolul ieșirii de pe șosea a autovehiculului.

Dacă artera de circulație este foarte largă (l >1,5 h), atunci se impune utilizarea sistemului bilateral, față în față. Utilizarea SIL bilateral, alternat, poate produce confuzii și poate genera grave accidente de circulație.

În zona de curbură, pentru securitatea circulației este necesară creșterea nivelului luminanței cu cel puțin 50 %, ceea ce se realizează prin reducerea distanței dintre stâlpi, aceasta fiind cuprinsă între 0,5 și 0,7 d (d fiind distanța dintre două aparate consecutive, pe aliniamentul în linie dreaptă), în funcție de raza de curbură, astfel încât conducătorul auto să poată vedea, simultan, cel puțin 3 puncte luminoase consecutive.

Montarea AIL pe exteriorul curbei (stânga), atunci când înainte de curbă ele sunt montate pe partea dreaptă, se face ca în fig. I.12.9. Orbirea ce poate fi produsă de AIL echipate cu surse de puteri mari și care se pot afla în câmpul vizual al conducătorului auto se evită dacă se aleg AIL cu unghi mare de protecție și înclinare redusă față de orizontală.

Pentru realizarea unor condiții de confort vizual corespunzătoare, în cazul *arterelor de circulație în pantă*, este necesar ca distanța dintre AIL să scadă progresiv către vârful pantei, proporțional cu unghiul de înclinare a pantei, pentru a realiza nivelurile de luminanță dorite. Pentru reducerea fenomenului de orbire, se utilizează AIL cu unghi mare de protecție, iar axul de simetrie al AIL este perpendicular pe suprafața șoselei.

- *Intersecții*

Sunt zone foarte importante ale căilor de circulație și modul de realizare a SIL necesită o atenție deosebită din partea proiectantului în ceea ce privește nivelul de luminanță, distribuția luminanțelor în plan util, alegerea AIL și a surselor de lumină, amplasarea stâlpilor.

Atenționarea conducătorului auto aflat în aproierea unei intersecții se poate face în mai multe moduri: prin ridicarea nivelului de luminanță în intersecție, cu 50 % peste cel mai mare nivel de luminanță de pe arterele care se intersectează, prin utilizarea de AIL de tipuri diferite pe fiecare arteră și prin moduri de amplasare diferite a AIL pe străzile care se intersectează.

Utilizarea de surse de culoare aparentă diferită pe străzile ce se intersectează sau la ieșirea din autostradă este un mod folosit uneori pentru orientare. În condițiile interiorului unui oraș,

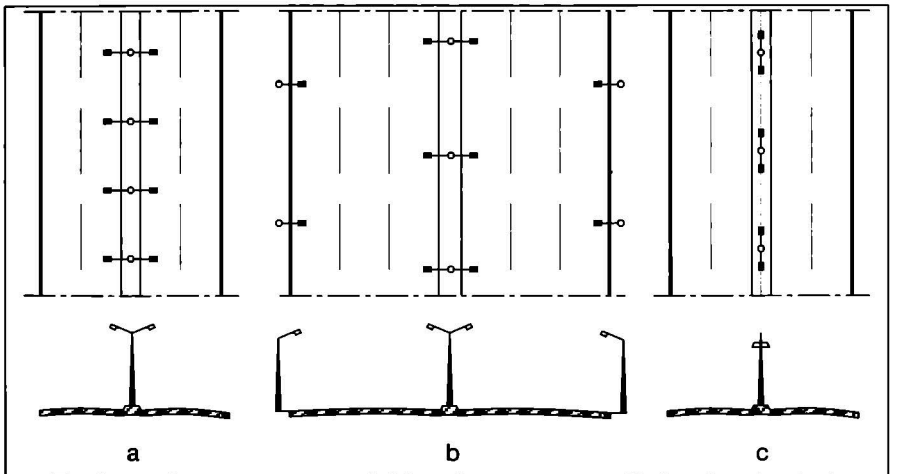


Fig. I.12.6. SIL pentru autostrăzi (secțiune transversală și vedere în plan): *a - central; b - bilateral față în față; c - catenar.*

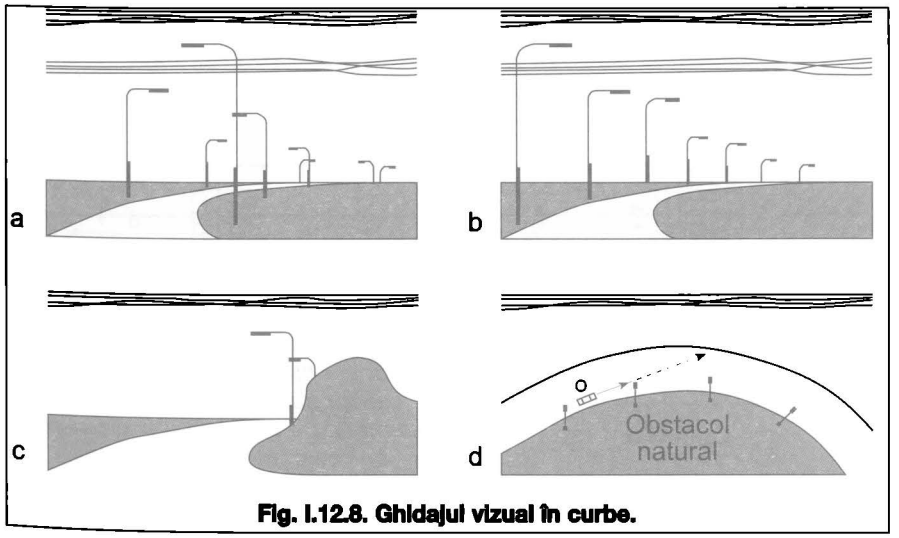


Fig. I.12.8. Ghidajul vizual în curbe.

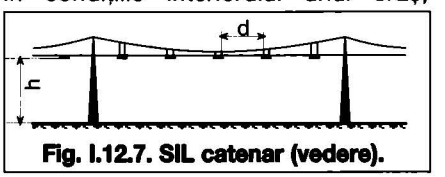


Fig. I.12.7. SIL catenar (vedere).

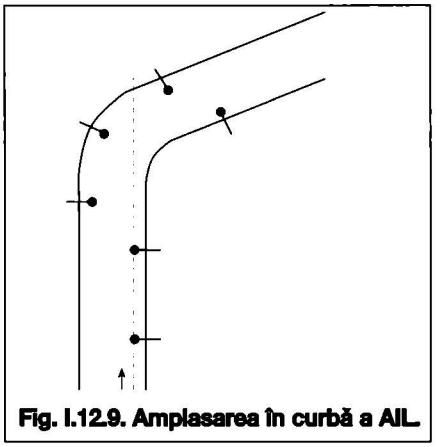


Fig. I.12.9. Amplasarea în curbă a AIL

această soluție poate avea două efecte importante: necesitatea adaptării cromatice vizuale (diferită în funcție de individ) și degradarea uniformității cromatice a ambientului urban.

Înălțimea de montare, distanța dintre AIL, puterea și numărul surselor de lumină se vor determina prin calcul. Amplasarea stâlpilor se face cât mai aproape de colțurile intersecției. În fig. I.12.10 a, este reprezentată intersecția unei străzi principale cu o stradă secundară; amplasarea stâlpilor s-a făcut la colțurile intersecției, pe strada principală s-au utilizat tipuri de AIL diferite, iar dispunerea AIL s-a făcut diferit pe cele două străzi care se intersectează, în funcție și de lățimea căilor. În funcție de tipul străzilor care se intersectează și de numărul lor se aleg soluții corespunzătoare (fig. I.12.10 b și c).

În cazul pieților și al intersecțiilor mari se utilizează stâlpi înalți (20...30m) pe care sunt montate baterii de AIL, astfel încât să se asigure o distribuție uniformă a luminanțelor în planul șoselei. Atunci când există spații verzi în zona carosabilă, se recomandă amplasarea stâlpilor în spațiul verde pentru realizarea unei iluminări mai bune a arterelor de circulație și utilizarea fluxului luminos în totalitate.

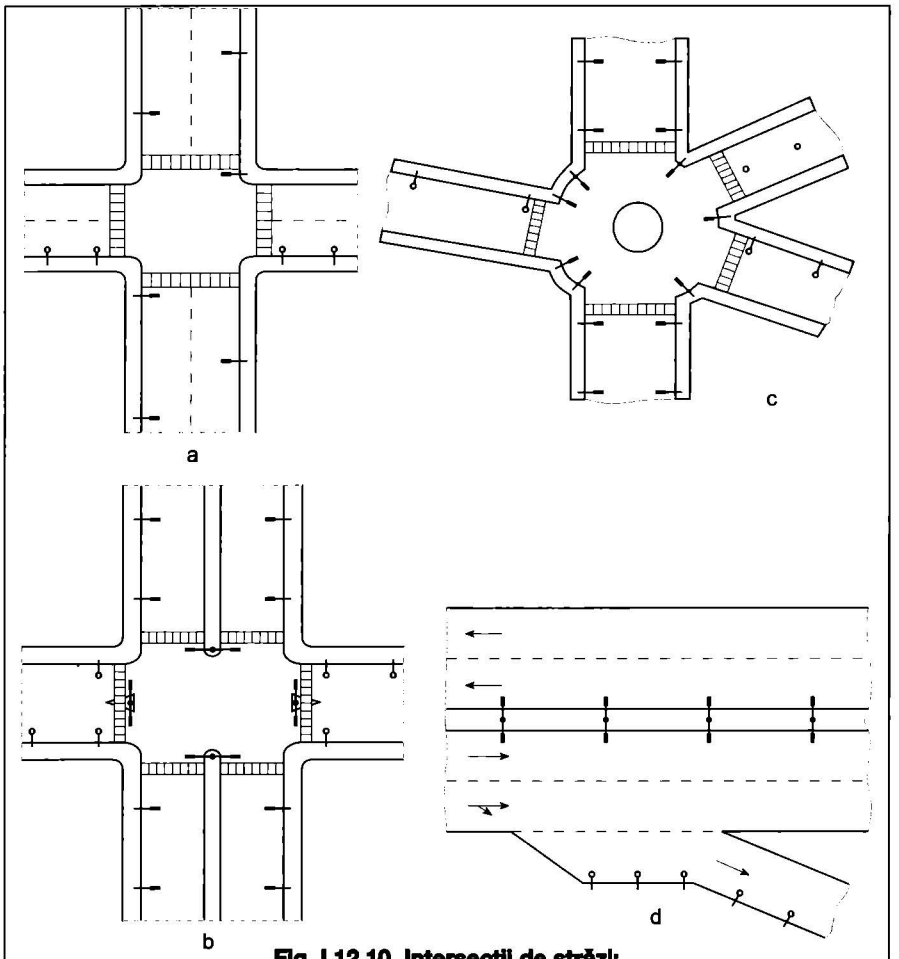


Fig. I.12.10. Intersecții de străzi:
a - intersecție simplă, străzi înguste; b - intersecție simplă, străzi largi; c - intersecție multiplă; d - ieșire din autostradă.

- *Intersecții de drumuri cu calea ferată sau alte linii metalice*

SIL destinate intersecțiilor cu calea ferată sau cu alte tipuri de linii metalice au rolul de a asigura securitatea desfășurării traficului rutier și punerea în evidență a semnelor de circulație care avertizează apropierea de acestea. Pe o lungime de 33 m de la calea ferată este considerată zona de securitate în care se amplasează AIL, de o parte și de alta a liniilor metalice. În funcție de intensitatea traficului rutier, de lățimea străzii și de numărul de linii de cale ferată se stabilește soluția luminotehnică corespunzătoare (fig. I.12.11).

- *Treceri de pietoni*

Sunt zone ale arterelor de circulație unde pericolul de accidentare a pietonilor, în condițiile lăsării întunericului, este mare. Se impune adoptarea unor soluții luminotehnice care să atenționeze conducătorul auto asupra prezenței trecerilor de pietoni, semnalizate prin semne de circulație și marcaje rutiere. Un SIL destinat trecerilor de pietoni bine realizat trebuie să asigure: nivelul de iluminare mai mare cu 50 % decât pe restul arterei de circulație, amplasarea corectă a AIL față de trecerea de pietoni și sensul de circulație, dirijarea fluxului luminos astfel încât pietonul să fie observat (fig. I.12.12).

- *Poduri*

În cazul podurilor fără suprastructură peste nivelul căii de circulație, se utilizează același tip de SIL cu cel al arterei de circulație în continuarea căreia se află podul. AIL se montează pe stâlpi amplasați după una din regulile prezentate anterior. AIL se mai pot monta în balustradă, mascat privirii. În cazul podurilor cu suprastructură, se utilizează elemente de construcție pentru a monta AIL suspendate pe cablu (axial sau catenar).

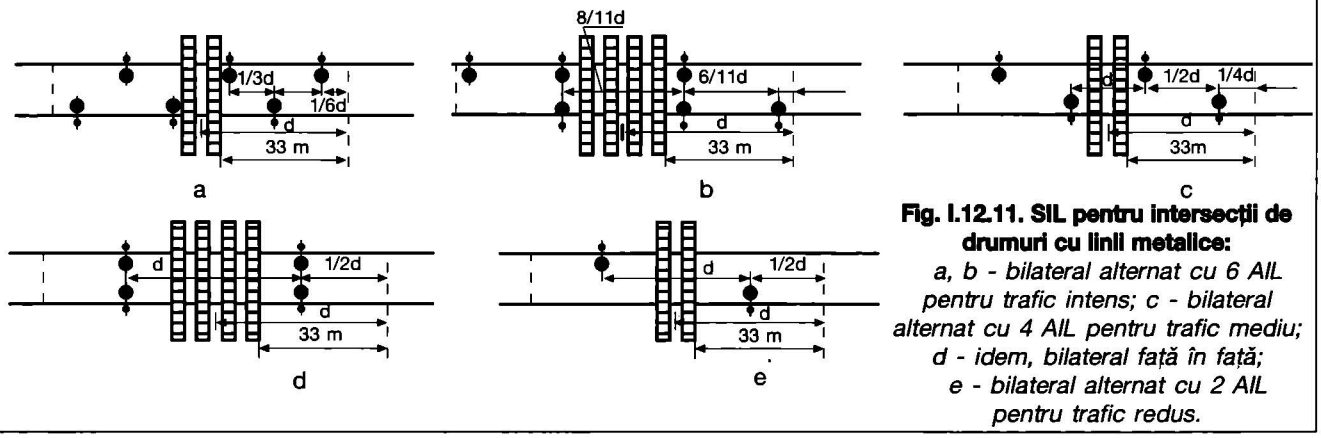


Fig. I.12.11. SIL pentru intersecții de drumuri cu linii metalice:
a, b - bilateral alternat cu 6 AIL pentru trafic intens; c - bilateral alternat cu 4 AIL pentru trafic mediu; d - idem, bilateral față în față; e - bilateral alternat cu 2 AIL pentru trafic redus.

- *Spații de parcare*

Din motive de securitate și datorită necesităților de a executa anumite manevre cu automobilul în spațiul de parcare, nivelul de luminanță și distribuția luminanțelor trebuie să fie apropiate de cele ale căilor de rulare. Amplasarea stâlpilor pe care sunt montate unul sau două AIL se va face în spațiul verde, dacă acesta există. În caz contrar, amplasarea stâlpilor se va face astfel încât să nu stânjenească conducătorul auto în manevrele de parcare.

- *Noduri din circulația rutieră*

Sunt zone de mare importanță unde desfășurarea traficului rutier trebuie să se realizeze fluent și în condiții de siguranță.

Pentru realizarea unor astfel de SIL se utilizează stâlpi de înălțime foarte mare (20...40 m) cu mai multe AIL, montate astfel încât să asigure o iluminare uniformă atât a arterelor de circulație superioare, cât și a celor aflate la partea inferioară. În completare, pentru asigurarea uniformității iluminării în planul util, se prevăd AIL montate sub arterele de circulație superioare. Echiparea stâlpilor se face cu AIL amplasate, într-o distribuție simetrică sau asimetrică, în funcție de necesități.

Tabelul I.12.4. Valorile recomandate pentru iluminarea orizontală [lx] la h = 1,5 m de la sol

Situația zonei		
Nesigură	Sigură	
5-10	circulație frecventă	circulație rară
	5	3

Tabelul I.12.5. Valorile maxime pentru indicele de luminanță, $(LA)^{1/4}$ (după CIE)

Înălțimea de montare	Valoarea maximă admisă a lui $(LA)^{1/4}$
h ≤ 4,5 m	3000
4,5 < h ≤ 6	4000
h > 6	5000

- *Zonele rezidențiale*

Căile de circulație pentru astfel de zone sunt de 6...7 m lățime și se caracterizează prin viteză de circulație mică, astfel că mărimea de referință va fi iluminarea. Cerințele AIL sunt:
- detectarea obstacolelor aflate pe drum de către conducătorii auto, moto sau cicliști;
- detectarea obstacolelor de pe trotuare de către pietoni;
- orientarea vizuală bună pentru a recunoaște casele sau alte structuri;
- recunoașterea trăsăturilor feței umane de la o distanță acceptabilă, pentru protecție;
- aspectul plăcut și confortabil al zonei.
- nu se folosesc AIL de putere mare care să lumineze și în interiorul caselor.

Pentru asigurarea majorității cerințelor sunt recomandate nivelurile de iluminare orizontală - la h=1,5 m - din tabelul I.12.4.

Pentru controlul distribuției luminanțelor se recomandă:
- menținerea uniformității generale în limitele cunoscute ($E_{min}/E_m \geq 0,4$);
- verificarea indicelui de luminanță $(LA)^{1/4}$, în care L este luminanța medie [cd/m^2] pentru un unghi γ=85...90°, iar A este suprafața emisivă a AIL proiectată într-un plan perpendicular pe direcția γ=90°.

Valorile maxime recomandate de norma CIE sunt date în tabelul I.12.5.

Este recomandabil ca sursele de lumină să fie cu spectrul luminos apropiat de cel al surselor din locuințele din zonă. Se recomandă lămpile cu descărcări în vapori de sodiu de înaltă presiune de putere mică sau lămpile compacte de culoare caldă.

AIL au forme variate în funcție de zonă (nouă sau veche), cu distribuții semidirecte sau directe-indirecte (globuri sferice sau aplatizate, tronconice și alte forme), montate pe stâlpi, iar în zone vechi, chiar pe fațade.

12.2.2. Tuneluri

Proiectarea și realizarea SIL pentru tuneluri se fac ținând cont de o serie de caracteristici specifice care fac ca sistemele de iluminat destinate acestora să fie tratate ca sisteme pentru spații interioare.

O caracteristică importantă este prezența suprafețelor reflectante (pereți și plafon), de care trebuie să se țină seama în calculul nivelului de luminanță/iluminare, constituind o componentă favorabilă echilibrului luminos.

Montarea aparatelor de iluminat se face la înălțimi mici, astfel încât este obligatorie utilizarea unor aparate de iluminat specializate care să asigure o protecție optică corespunzătoare pentru conducătorii auto, aflați în mișcare cu viteză mare de deplasare.

Tunelul este un spațiu închis pe o lungime foarte mare, în care există degajări de gaze corosive, praf și umiditate. Echipamentul ce trebuie ales în realizarea sistemelor de iluminat trebuie să prezinte un grad mare de protecție contra efectelor rezultate în urma acestor degajări.

În general, tunelul se poate împărți în următoarele zone principale distincte de: acces, prag, tranzit și interioară.

Zonele menționate se regăsesc și pe traseul de ieșire din tunel atunci când circulația prin acesta se face în ambele sensuri. Dacă circulația este într-un

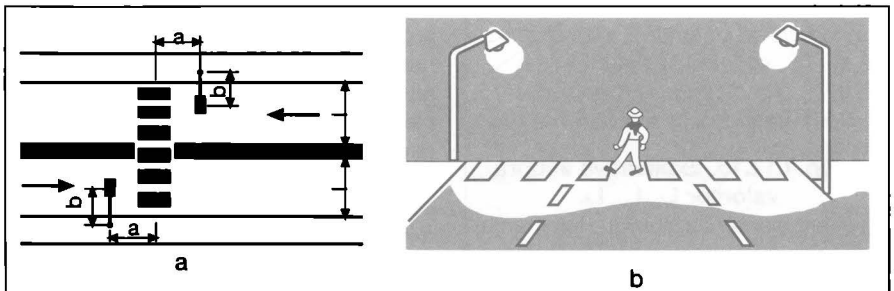


Fig. I.12.12. Amplasarea AIL - zonele trecerilor de pietoni:
a - plan; b - vedere nocturnă.

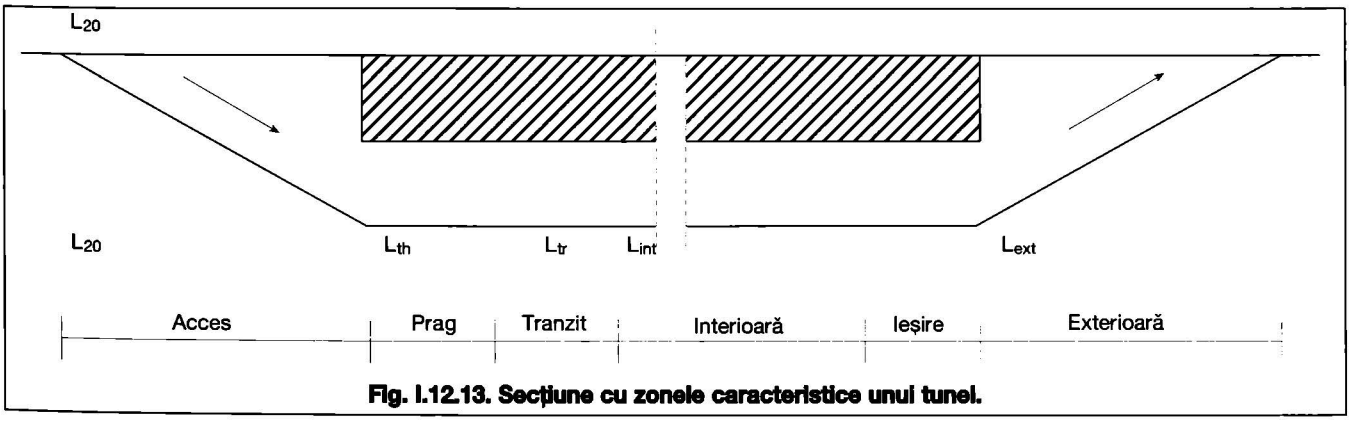


Fig. I.12.13. Secțiune cu zonele caracteristice unui tunel.

singur sens, ieşirea din zona interioară se face numai prin două zone: de ieşire şi exterioară (fig. I.12.13).

Zona de acces este zona aflată înainte de intrarea în tunel, unde ochiul observatorului aflat la volan receptează intrarea în tunel, de regulă, sub un unghi de 20°. Lungimea zonei este în funcţie de distanţa de frânare şi depinde de viteza de circulaţie. Pe această zonă a tunelului ochii conducătorului auto, ce se apropie de intrarea în tunel, sunt adaptaţi la un nivel de luminanţă foarte mare (7000...8000 cd/m² în zilele însorite). Dacă tunelul este suficient de lung, astfel încât conducătorul auto să nu poată vedea ieşirea din tunel, iar nivelul de luminanţă din interiorul tunelului are o valoare foarte mică în comparaţie cu nivelul de luminanţă din exterior, impresia pe care o are observatorul de la volan aflat în zona de acces este de „grotă neagră" şi acesta nu poate distinge nici un detaliu din interiorul tunelului. Pentru a micşora nivelul de luminanţă de-a lungul zonei de acces, deci pentru o adaptare vizuală mai bună, se recomandă adoptarea uneia din următoarele soluţii:

- realizarea unui sistem constructiv de-a lungul zonei de acces, din sticlă armată, uşor transparentă (ecran continuu) sau suprafeţe laterale cu reflectanţă mică (ρ<0,2), combinate cu ecrane semitransparente montate deasupra suprafeţei de la intrare, pentru ecranarea luminii naturale, şi care să contribuie substanţial la reducerea nivelului de luminanţă în zona de acces;
- prevederea unei zone cu vegetaţie abundentă (arbori şi tufişuri) de-o parte şi de alta a zonei de acces, cu aceleaşi efecte ca şi în primul caz.

Zona de prag este zona în care se face trecerea bruscă, de la un nivel de luminanţă foarte mare la un nivel de luminanţă scăzut. Pentru a face vizibil conturul interior al tunelului şi eventualele obstacole aflate pe calea de rulare, nivelul de luminanţă din zona de prag trebuie să fie, aproximativ, 4...10 % din valoarea celui exterior, în funcţie de SIL adoptat.

Lungimea zonei de prag depinde de viteza cu care se deplasează conducătorul auto şi este cu atât mai mică, cu cât viteza de deplasare este mai redusă; la 50...60 km/h, lungimea acestei zone va fi aproximativ 40 m, iar la o viteză de 100 km/h, lungimea zonei va fi de 90 m.

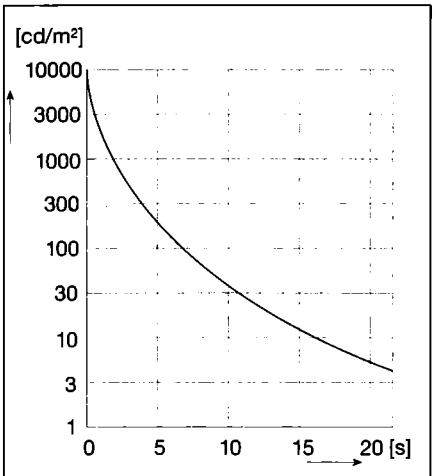


Fig. I.12.14. Relaţia dintre luminanţă şi timpul de adaptare.

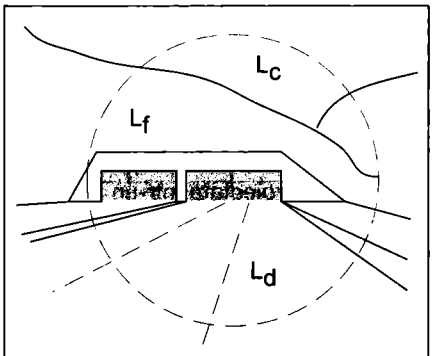


Fig. I.12.15. Explicativă asupra valorilor L_c, L_d, L_f.
L_c - luminanţa cerului; L_f - luminanţa fondului; L_d - luminanţa drumului.

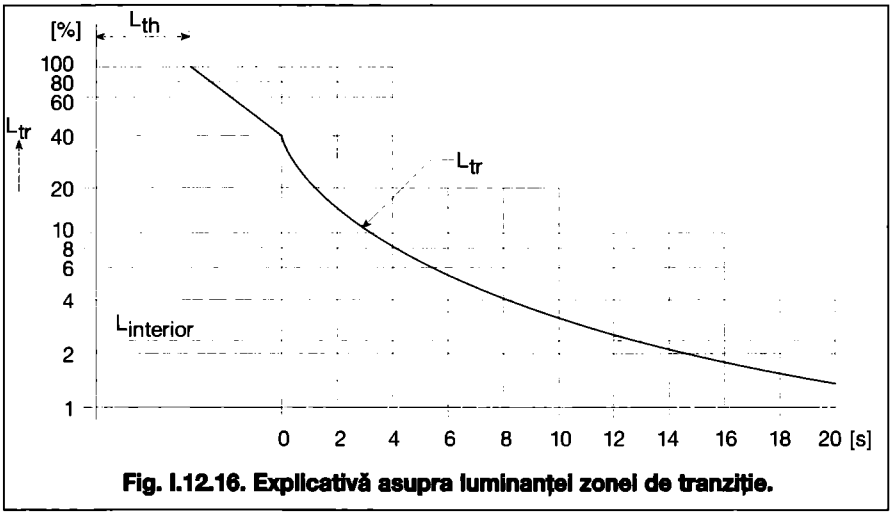


Fig. I.12.16. Explicativă asupra luminanţei zonei de tranziţie.

Zona de tranzit este cea în care se face adaptarea ochiului observatorului de la un nivel de luminanţă L_{20} la un nivel scăzut de luminanţă de L_{int}=*10...15* cd/m². Legătura dintre luminanţă şi tipul de adaptare a fost stabilită experimental şi este redată în fig. I.12.14. Lungimea acestei zone depinde de timpul de adaptare a ochiului şi de viteza de deplasare, fiind aproximativ 300 m pentru o viteză de 70 km/h.

Zona centrală se găseşte în continuarea zonei de tranzit şi lungimea acesteia depinde de cea totală a tunelului. Se caracterizează, în general, printr-un nivel de luminanţă L_{int} = *5...10* cd/m², iar în condiţiile unui trafic ridicat şi o viteză admisă în tunel de 70...80 km/h se recomandă un nivel de 15 cd/m².

Către sfârşitul tunelului există „în succesiune inversă" aceleaşi zone ca şi la începutul acestuia şi anume zonele de tranzit, de prag, de ieşire, dacă tunelul este cu dublu sens. Diferenţa constă în faptul că ochiul observatorului se adaptează mult mai uşor la niveluri mari de luminanţă. Ieşirea din tunel în timpul zilei oferă privirii un contrast negativ, dând imaginea de „grotă albă" strălucitoare, pe fondul căreia obstacolele se văd în efect de siluetă. Pentru a realiza o conturare mai bună a acestora, precum şi pentru o adaptare vizuală mai bună, se recomandă realizarea pereţilor tunelului din placaje de culoare deschisă, lavabile, uşor de întreţinut.

• Aspecte cantitative

Nivelul de luminanţă în planul căii de rulare este variabil în timp şi/sau spaţiu, în funcţie de caracteristicile luminii naturale (soare fără nori, cer acoperit, amurg, noapte) şi în funcţie de nivelurile de luminanţă recomandate pentru diferite zone, caracteristice tunelului.

Pe zona de acces se recomandă adoptarea unei soluţii de ecranare a luminii naturale (sisteme constructive cu lamele sau vegetaţie abundentă), prezentate anterior.

În zona de prag, normele internaţionale impun un nivel de luminanţă care poate ajunge până la 10 % din nivelul de luminanţă exterior (ceea ce corespunde aproximativ unui nivel de iluminare de 10.000 lx - în cazul unei zile însorite, valoare mare, care necesită un consum energetic ridicat).

Utilizarea sistemelor constructive de ecranare a luminii naturale are ca urmare o reducere a nivelului de iluminare în zona de prag (cu păstrarea aceloraşi condiţii vizuale) şi implicit reducerea consumului energetic. Tot în scopul reducerii consumului energetic se poate utiliza un sistem, în care aparatele de iluminat au o distribuţie nesimetrică a

fluxului luminos şi sunt montate în opoziţie cu sensul de circulaţie (sistem numit „counter beam"). Aceasta conduce la o reducere a nivelului de luminanţă L_{th} cu cel puţin 20 %.

Conform normelor CIE, L_{20} se determină cu relaţia:

$L_{20} = \gamma L_c + \rho L_d + \varepsilon L_f$ (12.2.1)

în care semnificaţiile luminanţelor rezultă din fig. I.12.15 ($L_c = L_{cer}$, $L_d = L_{drum}$ şi $L_f = L_{fond}$), iar valorile sunt date în tabelul I.12.6, în funcţie de direcţia geografică de intrare în tunel

γ, ρ şi ε [%] reprezintă procentele din suprafaţa cercului obţinut prin intersectarea unghiului spaţial corespunzător unghiului plan de 20° cu planul vertical tangent la intrarea în tunel

Luminanţa zonei de prag se determină din tabelul I.12.7 în funcţie de L_{20} şi de SIL ales.

Luminanţa zonei de tranziţie, care reprezintă o valoare descrescătoare, este dată de relaţia:

$L_{tr} = L_{th}\,(1{,}9+t)^{-1{,}4}$ (12.2.2)

reprezentată şi în fig. I.12.16 şi care este funcţie de timpul de parcurs în zona de tranziţie *(t)* [s].

Pentru zona centrală, nivelul de luminanţă L_{int} se determină în funcţie de distanţa de frânare şi trafic, fiind indicat, conform CIE, în tabelul I.12.8.

În fig. I.12.17 este indicată distanţa de frânare în funcţie de viteza de deplasare şi panta căii (pozitivă-urcare sau negativă-coborâre).

De-a lungul zonei de tranzit, nivelul de luminanţă scade în trepte de la 3000...8000 cd/m², la nivelul recomandat pentru zona centrală de 5...15 cd/m². Datorită condiţiilor de confort vizual impuse, nivelurile de luminanţă diferite, de la o treaptă la alta trebuie, să se încadreze în limitele $L_{n-1}/L_n \leq 3/1$, astfel încât sunt necesare 4 sau 5 trepte de schimbare a nivelului de iluminare de-a lungul zonei de tranzit.

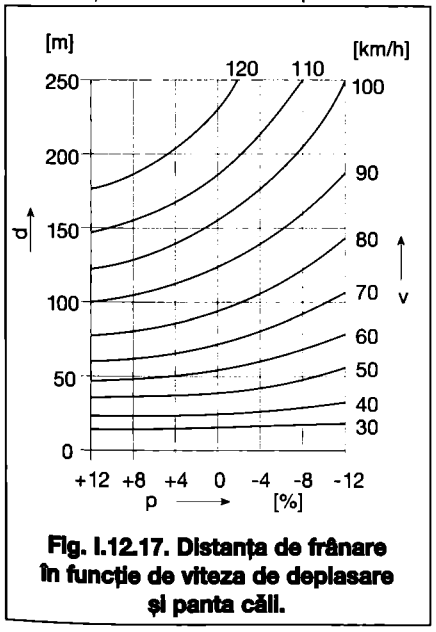


Fig. I.12.17. Distanţa de frânare în funcţie de viteza de deplasare şi panta căii.

• Aspecte calitative

Distribuţia luminanţelor este un factor calitativ important (ca şi în cazul celorlalte căi rutiere) în stabilirea confortului vizual. Verificarea uniformităţilor luminanţelor în planul căii de rulare se realizează cu ajutorul factorilor de uniformitate menţionaţi pentru evitarea orbirii psihologice.

De remarcat că prezenţa suprafeţelor reflectante (pereţi, plafon şi uneori calea de rulare, dacă aceasta are o reflectanţă $\rho \geq 0{,}3$) are un rol pozitiv în uniformizarea luminanţelor din plan util.

Pentru evitarea orbirii fiziologice se recomandă AIL cu unghiuri de protecţie corespunzătoare sau prevăzute cu difuzoare.

Pentru aprecierea orbirii psihologice în câmpul vizual, determinarea indicelui de creştere a pragului *TI* se face cu relaţiile:

$TI = 65 L_v / L_m^{0,8}$ (pentru $L_m \leq 5$ cd/m²) (12.2.3)

sau

$TI = 95 L_v / L_m^{1,05}$ (pentru $L_m > 5$ cd/m²) (12.2.4)

în care:

L_m - reprezintă luminanţa medie a pereţilor şi tavanului,

L_V - este luminanţa de voal a surselor care apar în unghiul spaţial corespunzător celui plan de 20° şi se calculează cu relaţia din § 10.4.

Confortul este asigurat dacă $TI < 15$ %

Contrastele din câmpul vizual se pot reduce în mare măsură prin creşterea reflexiei incintei tunelului. Aceasta contribuie la reducerea substanţială a fenomenelor de orbire psihologică şi fiziologică şi a efectelor negative ale acestora asupra capacităţii vizuale a conducătorului auto.

Redarea culorilor nu este un factor determinant în alegerea surselor de lumină.

Ghidajul vizual este un factor important în realizarea sistemelor de iluminat destinate tunelurilor şi o realizare corespunzătoare a acestuia asigură o desfăşurare în siguranţă a traficului rutier. Ghidajul vizual se realizează prin amplasarea aparatelor de iluminat în linii paralele cu axul drumului. În cazul existenţei a două sensuri de circulaţie este necesară utilizarea cel puţin a unui şir de aparate de iluminat pe fiecare sens, de preferat amplasat pe plafon, în axul benzii de circulaţie.

Fenomenul de pâlpâire este nedorit în tuneluri. Acesta apare atunci când şirurile de aparate de iluminat sunt discontinue în câmpul vizual al conducătorului auto sau datorită reflexiilor luminii pe suprafeţele lucioase ale autovehiculelor. Acest fenomen se accentuează, în special, în zona centrală unde aparatele de iluminat sunt mai rare. Efectul de inconfort, generat de fenomenul de pâlpâire este apreciat prin frecvenţa *(f)* dată de relaţia:

$f = v/s$ [Hz] (12.2.5)

în care:

v - este viteza de deplasare a vehiculului [m/s],

s - este distanţa dintre aparatele de iluminat [m].

Pentru $f \leq 2{,}5$ Hz şi $f \geq 15$ Hz, fenomenul este neglijabil sau fără efecte negative asupra capacităţii vizuale a observatorului.

Categoria SIL	a/h	surse
I	1,5	TLD SOX-E
	2,0	SON-T
II	3,5	SOX-E
	4	SON-T
III	2-2,5	SON-T

Fig. I.12.18. SIL pentru tuneluri.

• Caracteristicile sistemelor de iluminat pentru tuneluri

Acestea trebuie să satisfacă exigenţele cantitative şi calitative amintite, printr-o amplasare raţională a AIL şi o

Tabelul I.12.6. Valorile luminanţelor L_c, L_d şi L_f

Direcţia de intrare	L_c	L_d	L_f			
			pietre	clădiri	zăpadă	pajişti
N	8	3	3	8	15	2
E-V	12	4	2	6	10 ... 15	2
S	16	5	1	4	5 ... 15	2

Tabelul I.12.7. Valorile raportului L_{th}/L_{20}

Distanţa de frânare [m]	SIL simetric L_{th}/L_{20}	SIL „Counter-Beam L_{th}/L_{20}
60	0,05	0,04
100	0,06	0,05
160	0,10	0,07

Tabelul I.12.8. Valorile luminanţei în zona centrală (L_{int}) [cd/m²]

Distanţa de frânare [m]	Trafic [veh/h]		
	<100	100...1000	>1000
60	1	2	3
100	2	4	6
160	5	10	15

alegere corespunzătoare a surselor de lumină.

După PHILIPS, SIL utilizate în tuneluri se clasifică în 3 categorii în raport cu linia privirii: I, II și III („counter beam").

Acestea sunt prezentate în fig. I.12.18 unde sunt date și rapoartele *a/h* și tipul surselor de lumină recomandate.

Sistemele se pot clasifica și din punct de vedere al continuității și orientării astfel:

A - șiruri cu discontinuități în limita evitării fenomenului de pâlpâire (fig. I.12.19 a);

B - șiruri continue montate în mod obișnuit câte unul pe fiecare sens de circulație (fig. I.12.19 b);

C - benzi paralele montate pe plafon sau pereți, în plan orizontal sau vertical (orientate) (fig. I.12.19 c);

D - șiruri luminoase continue realizate din tuburi de lumină, montate pe pereții laterali ai tunelului.

SIL „counter beam" utilizează AIL nesimetrice cu intensitatea maximă dirijată în opoziție cu sensul de circulație. Este utilizat numai în zona de intrare și ieșire pentru diminuarea efectului de grotă (neagră/albă), așa cum se vede din figura I.12.20.

Cele mai utilizate AIL sunt:

- aparat de iluminat polivalent ce poate fi echipat cu lămpi fluorescente și cu una sau două lămpi cu vapori de sodiu de înaltă presiune;
- aparat de iluminat cu distribuție nesimetrică dirijată în opoziție cu fluxul de circulație (sistemul „counter beam"). Acest AIL se utilizează numai în zonele de prag ale tunelelor; montarea aparatelor de iluminat se poate face și într-un plafon fals creat din necesități fonoizolante;
- aparate de iluminat universale ce pot fi echipate cu surse fluorescente tubulare sau cu vapori de sodiu de înaltă presiune;
- tuburi de lumină al cărei principiu de funcționare constă în transmiterea luminii prin aer, cu ajutorul unui film optic OLF (Optical Ligthing Film) care acoperă interiorul tubului și asigură un coeficient de reflexie mare (98 %), permițând astfel transportul luminii la

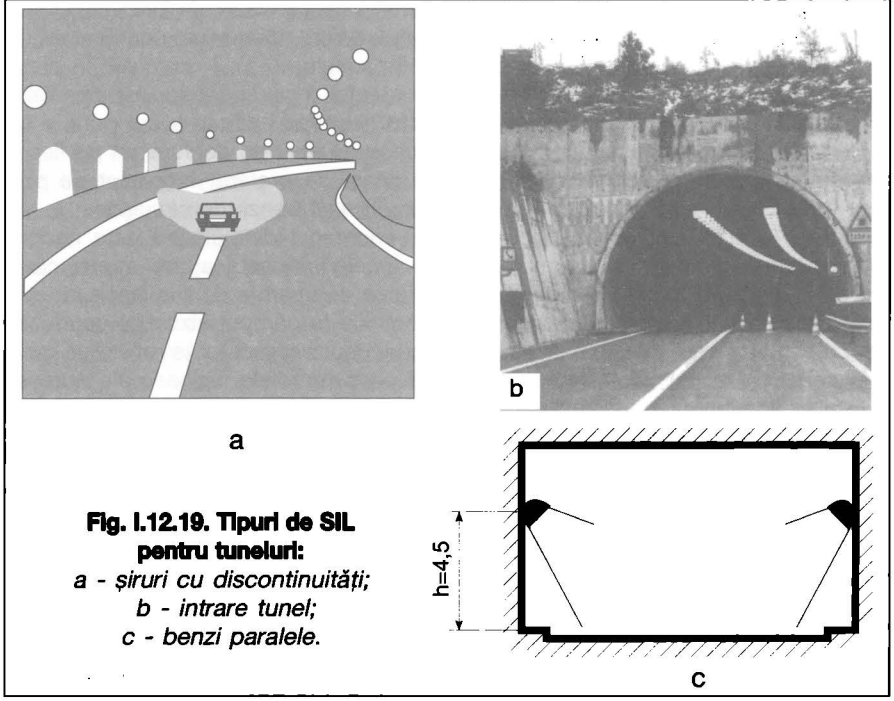


Fig. I.12.19. Tipuri de SIL pentru tuneluri:
a - șiruri cu discontinuități;
b - intrare tunel;
c - benzi paralele.

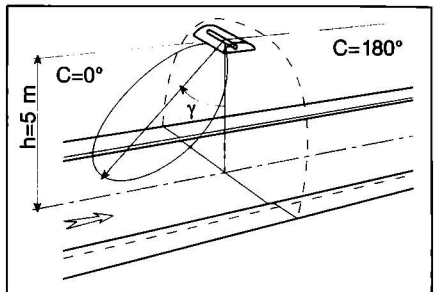


Fig. I.12.20. AIL montat în sistemul „counter beam".

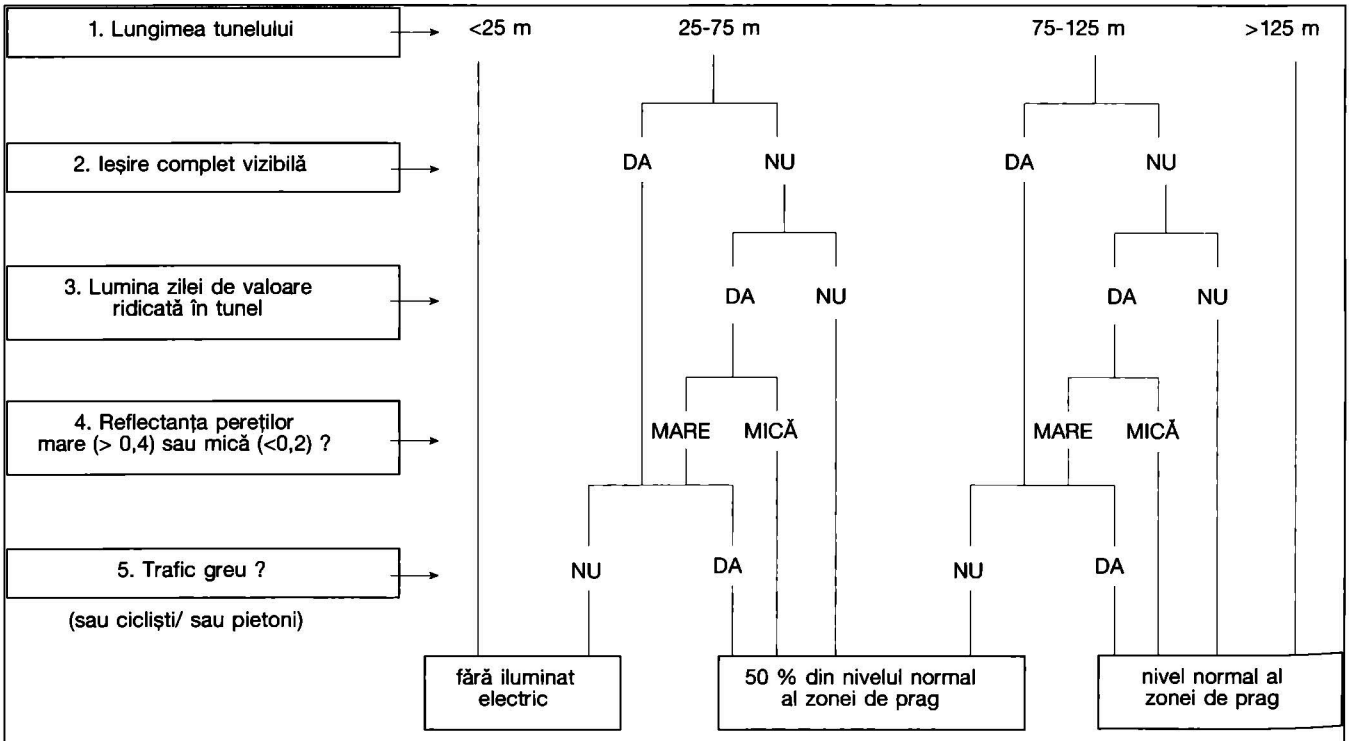


Fig. I.12.21. Parametrii SIL pentru tuneluri în funcție de: lungime, vizibilitatea ieșirii, accesul luminii naturale, reflectanța pereților și tipul traficului.

distanțe mari. Datorită acestui tub de lumină este posibilă transformarea „surselor punctuale" în „surse liniare". Ele sunt utilizate, de regulă, în zona centrală a tunelului.

Aparatele de iluminat destinate tunelurilor trebuie să îndeplinească următoarele exigențe suplimentare: să fie robuste și să nu se degradeze datorită traficului sau curățirii; să fie etanșe (capsulate) la efectele corosive ale gazelor de eșapare și produselor utilizate pentru curățire; partea exterioară a AIL să fie foarte netedă, evitând astfel depunerea materialelor corosive, permițând o curățire ușoară; să asigure protecție vizuală corespunzătoare; să fie prevăzute cu asigurare locală, cu siguranță fuzibilă (este de preferat); fixarea AIL și racordul său la rețea să permită schimbarea rapidă și sigură a acestuia.

Sursele de lumină utilizate pentru echiparea AIL montate în tunel sunt alese după următoarele criterii:

- *eficacitatea luminoasă* mare, recomandându-se utilizarea în zona de prag a surselor cu descărcări (lămpi cu vapori de sodiu la înaltă și joasă presiune); în zona de tranzit, surse cu descărcări în vapori de sodiu și lămpi fluorescente tubulare în zona centrală, lămpi fluorescente singure sau în combinație cu alte surse cu descărcări cu durata de viață mare;
- funcționarea la diverse temperaturi ale mediului ambiant;
- timpul mic de amorsare în cazul în care se face comutarea automată pe o rețea de alimentare de rezervă.

În funcție de lungimea tunelului, se prevede sau nu iluminatul electric în timpul zilei, așa cum se poate urmări în fig. I.12.21.

SIL pentru tuneluri trebuie să fie sisteme dinamice ale căror niveluri de iluminare/luminanță trebuie să fie permanent adaptate în funcție de nivelurile de iluminare/luminanță din exterior (cer senin, acoperit, zi, seară, noapte - fig. I.12.22).

Datorită acestor variații SIL trebuie să fie prevăzut cu instalații de reglare automată, acționate în funcție de iluminarea orizontală exterioară sau de luminanța ambientală exterioară. Reglarea în funcție de luminanță este preferabilă pentru că asigură o mai mare corectitudine, ținând seama de starea reală a suprafeței îmbrăcămintei rutiere (umedă, uscată, acoperită cu zăpadă etc.). Se măsoară, la 100 m de la intrare, luminanța șoselei, a zonei înconjurătoare și a bolții cerești, semnalul rezultat comandând sistemul automat de reglare (§13).

Pentru realizarea multitudinii de trepte de luminanță pe zonele de prag și tranzit, sistemele implică necesitatea reglării permanente, realizate astfel:

a - în trepte pe ansamblu;
b - în trepte pe AIL (cu comanda separată a fiecărei surse);
c - fină

Variantele b și c sunt cele mai bune, ele menținând și uniformitatea sistemului; varianta c este aplicabilă numai la sursele care permit acest lucru.

Pentru cazul căderii sursei de alimentare a iluminatului normal este necesară prevederea unui SIL de siguranță cu punere automată în funcțiune și care să poată suporta puterea necesară pentru nivelul minim (interior de noapte). De asemenea, trebuie puse în funcțiune, simultan, sisteme de avertizare luminoasă la 100...150 m de tunel care să indice defectul și viteza maximă admisă în această situație. Pentru zona de prag și tranziție, nivelul de luminanță asigurat se adaptează la indicația de viteză admisă în această ipoteză (de defect).

Conform normei CIE 88, pentru astfel de situații, în funcție de lungimea tunelului și trafic, se recomandă una dintre următoarele soluții de alimentare cu energie de rezervă:

- dintr-o sursă independentă față de cea a SIL normal;
- din două surse independente (baterie de acumulare cu comutare instantanee și grup electrogen cu pornire automată), dacă întreruperea este mai mare de 30 s;
- dintr-un grup electrogen automat cu timp de pornire rapidă (câteva s).

12.2.3. Iluminatul decorativ arhitectural (monumente, clădiri)

Sistemele de iluminat decorativ - arhitectural au rolul de a realiza punerea în evidență, la lăsarea serii/nopții, a unor monumente de artă sau a unor clădiri. Datorită specificului, sistemul nu se înscrie în modelul prezentat anterior pentru iluminatul exterior.

De multe ori sistemul de iluminat electric poate realiza noaptea efecte decorative spectaculoase, mult mai interesante decât cele oferite de lumina de zi. Posibilitatea de a orienta, în maniera dorită, sursele de lumină către obiectiv reprezintă un grad de libertate care, utilizat corespunzător, poate conduce la o redare estetică, superioară iluminatului natural.

Concepția sistemului necesită studii atente ale efectelor într-o strânsă conexiune cu ambianța arhitecturală.

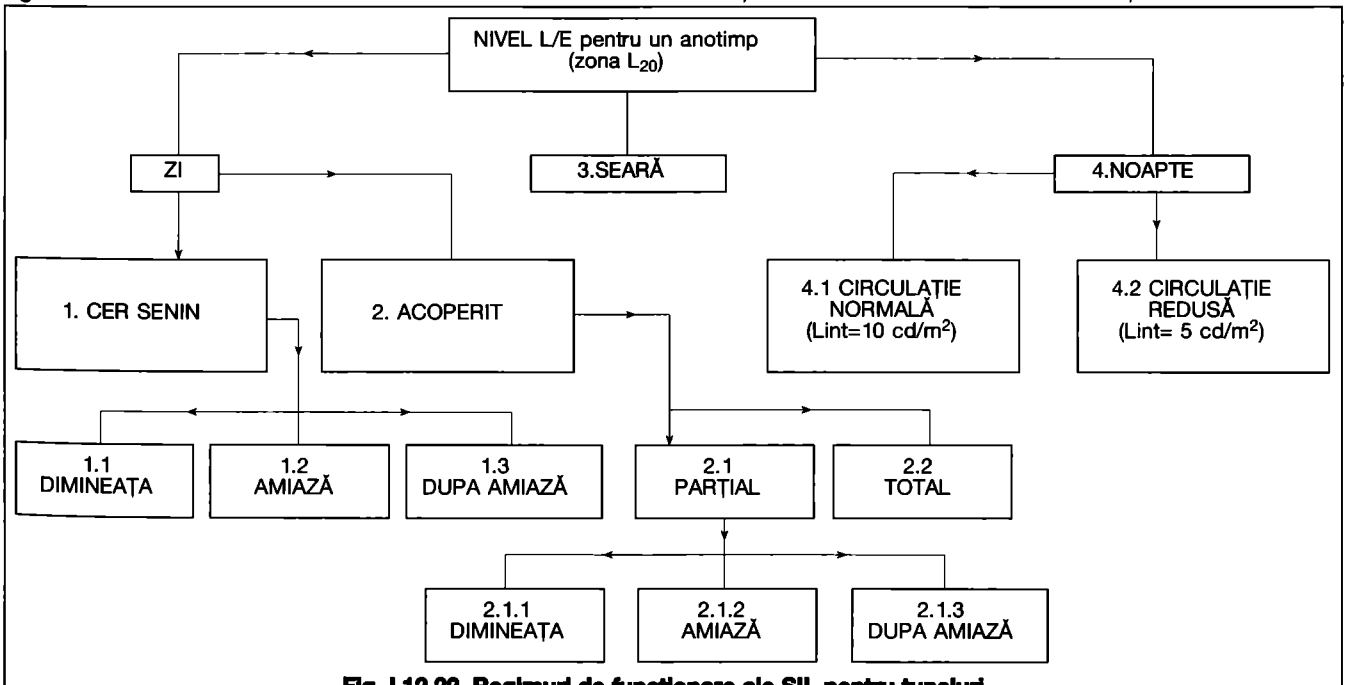


Fig. I.12.22. Regimuri de funcționare ale SIL pentru tuneluri.

Trebuie să se ia în considerare caracteristicile cele mai atractive ale clădirii sau monumentului, pentru a fi accentuate prin iluminat. În mod evident, spre deosebire de alte sisteme, amprenta originalității estetice a autorului devine determinantă.

• Sursele de lumină și aparatele de iluminat

Pentru iluminatul arhitectural se pot utiliza toate sursele de lumină cunoscute, fiecare obținând însă un anumit efect, determinat de caracteristicile specifice de culoare.

În tabelul I.12.9 sunt date caracteristicile surselor utilizate. Dacă se urmărește o redare corectă, reală a culorilor și o variație a fluxului luminos, este necesară utilizarea surselor cu incandescență cu halogen care au un cost de investiție redus, dar un consum energetic mare.

Un aspect important îl reprezintă alegerea culorii aparente a sursei în funcție de necesitatea armonizării cu ambientul luminos din zonă. Uneori, în funcție de obiectiv și de aspectul urmărit, se pot alege și contraste de culoare.

Dacă nu se urmărește redarea culorilor ci efectul artistic de reliefare a monumentului, se vor prefera lămpi cu vapori de mercur sau sodiu. Costul inițial este mai mare decât al lămpilor cu incandescență cu halogen, dar consumul de energie este mult mai mic (în special, la lămpile cu vapori de sodiu).

Atunci când este necesară redarea culorilor se vor prefera lămpile cu descărcări în vapori de mercur în amestec cu ioduri metalice (MH). Această soluție are dezavantajul unui cost de investiție mai ridicat față de alte soluții, dar și avantajul unui cost de exploatare foarte redus.

Aparatele de iluminat utilizate sunt proiectoarele cu distribuție concentrată, medie sau largă, în care se montează sursele amintite.

• Aspecte determinante în realizarea sistemelor

Direcția de privire principală a obiectivului este importantă deoarece trebuie să coincidă cu direcția sistemului de iluminat, respectiv, zona care trebuie iluminată.

Distanța de privire este importantă pentru determinarea vizibilității fațadei și a detaliilor caracteristice.

Gradul de întunecare a mediului ambiant sau fondului pe care se conturează obiectivul sunt foarte importante în alegerea nivelului de iluminare. Astfel, dacă acestea sunt întunecate, va fi necesar un nivel de iluminare, relativ redus pentru a realiza un contrast suficient redării sugestive a obiectului (fig. I.12.23). Dacă zona este iluminată, cu străzi și clădiri ce creează o ambianță de luminanță relativă ridicată, subiectul sistemului va trebui să primească un flux mai mare pe unitatea de suprafață (fig. I.12.24). De asemenea, se poate realiza un contrast de culoare ce va fi favorabil conturării imaginii dorite.

Geometria (forma) obiectivului trebuie pusă în evidență în funcție de direcția de privire. Astfel, pentru o construcție paralelipipedică (fig. I.12.25) la care direcția principală de privire a observatorului O este indicată de săgeată, proiectoarele sunt amplasate în A și B, opus față de diagonala A'B', obținându-se un contrast bun de luminanță între cele două suprafețe laterale alăturate, ceea ce creează reliefarea corectă și sugestivă a obiectivului. Montarea la sol (sau în apropierea solului) a proiectoarelor (fasciculul de lumină oblică) pune în evidență rugozitatea materialului fațadei.

Suprafețele de apă, dacă există în preajma obiectivului, pot contribui într-un mod fericit la realizarea efectului artistic. Astfel pe suprafețe mari de apă, în raport cu obiectivul, se poate realiza reflexia construcției iluminate în oglinda „neagră" a apei.

Obstacolele naturale create de arbori sau altă vegetație abundentă pot constitui o componentă decorativă a sistemului de iluminat. Astfel amplasarea proiectoarelor în spatele arborilor, arbuștilor sau tufișurilor are ca efect, pe de o parte, mascarea sursei față de observator, iar pe de alta, punerea în evidență a vegetației prin efectul de siluetă.

• Amplasarea proiectoarelor

Deoarece se urmărește, în principal, efectul decorativ - artistic, pentru realizarea sistemului trebuie să se studieze

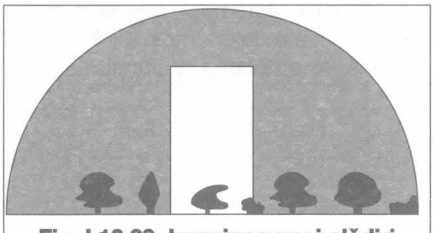


Fig. I.12.23. Imaginea unei clădiri iluminate pe fond întunecat.

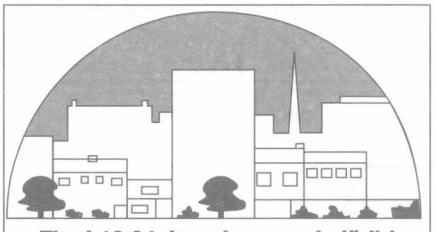


Fig. I.12.24. Imaginea unei clădiri iluminate pe fond luminos.

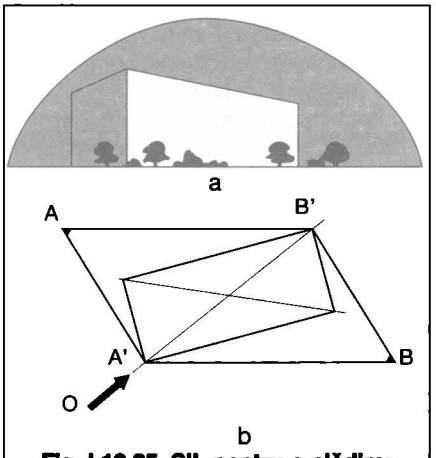


Fig. I.12.25. SIL pentru o clădire: *a - ansamblu; b - plan.*

Tabelul I.12.9. Caracteristicile surselor de lumină din punct de vedere al utilizării și iluminatului construcțiilor și monumentelor

Surse de lumină	Posibilități de reglare fină	Timpul de amorsare [min]	Eficacitatea luminoasă	Redarea culorilor	Durata de funcționare	Investiție	Consum energetic
incandescente cu halogen	Da	0	scăzută	excelentă	medie	redusă	foarte mare
fluorescente	Da	0	mare	bună	mare	mare	scăzut
cu vapori de mercur	Nu	> 4	mare	acceptabilă	mare	mare	scăzut
cu vapori de mercur și ioduri metalice	Nu	4...5	mare	bună și foarte bună	mare	mare	scăzut
cu vapori de sodiu la înaltă presiune	Nu	> 4	foarte mare	acceptabilă	mare	foarte mare	foarte scăzut
cu vapori de sodiu la joasă presiune	Nu	7...12	foarte mare	nesatisfăcătoare	mare	mare	foarte scăzut
LEDuri de culoare aparentă caldă sau neutră	Da	0	medie și mare	bună și foarte bună	foarte mare	mare	scăzut

toate posibilitățile de amplasare din exteriorul clădirii (balustrade, copertine, parapete, balcoane sau logii ș.a.).

Amplasarea proiectoarelor pe orizontală se poate realiza astfel:
- în apropierea obiectivului, ca în fig. I.12.26 a, având ca avantaje: o bună utilizare a fluxului luminos, eficiență economică, dar și ca dezavantaje: umbre pronunțate, excesive; această amplasare crează un efect dramatic ce poate reprezenta un aspect de atracție;
- în apropierea obiectivului cu iluminat suplimentar integrat în elementele de arhitectură proprii (balcoane, balustrade, copertine ș.a.) ca în fig. I.12.26 b. Se elimină contrastele de pe fațadă;
- la o depărtare mai mare de obiectiv, ca în fig. I.12.26 c, care are ca avantaj o utilizare mai redusă a fluxului.

Amplasarea proiectoarelor pe verticală se poate realiza la înălțimi diferite și anume:
- la h = 0 (fig. I.12.27) când acestea se plasează în spații cu vegetație, în alte construcții joase, existente sau în locuri special destinate acestui scop.
- la h ≠ 0 în funcție de particularitățile existente în zonă; (pe stâlpii iluminatului public, alte construcții). Uneori se creează condiții speciale montării pe stâlpi independenți a unor baterii de proiectoare.

Proiectoarele cu distribuție largă corespund unei înălțimi de 1 sau 2 etaje. Pentru construcțiile înalte (h>25 m) trebuie utilizate sisteme combinate: pentru etajele inferioare proiectoare cu distribuție largă sau medie, iar pentru cele superioare, proiectoare cu distribuție concentrată (fig. I.12.26 d).

Se obține astfel o luminanță relativ uniformă pe fațada luminată.

12.2.4. Iluminatul decorativ pentru spații verzi, jocuri de apă

• SpațiI verzi

Iluminatul zonelor verzi din grădini și parcuri are un dublu rol și anume:
- asigură un confort vizual ridicat (suprimând impresia de ambient „negru") și securitatea pietonilor, prin ridicarea nivelului de iluminare;
- pune în evidență, pe timpul nopții, frumusețile naturii prin contraste de lumini și umbre.

Pentru realizarea sistemelor de iluminat destinate zonelor verzi trebuie să se ia în considerare următoarele aspecte:
- obiectivele asupra cărora trebuie introdus accentul sunt arborii declarați monumente ale naturii, arborii ornamentali etc.
- corelarea sursei de lumină cu culoarea frunzelor și a florilor;
- corelarea armonioasă între iluminatul decorativ și cel pietonal sau stradal;
- mascarea proiectoarelor prin integrarea acestora în decorul existent pentru a fi ascunse privirii observatorului în timpul zilei;
- protejarea plantelor aflate în apropierea aparatelor de iluminat împotriva degajărilor de căldură ale aparatelor de iluminat;
- protecția observatorului împotriva orbirii fiziologice care poate apare la privirea directă a surselor de lumină.

Efectele luminoase obținute într-o zonă cu vegetație abundentă (arbori, arbuști, zone plantate cu flori) sunt numeroase și foarte plăcute. Aceste efecte se pot obține respectând câteva principii de bază prezentate în cele ce urmează.

- *Arbori izolați cu coroană deasă* (castan, platan etc.). Se adoptă o soluție în care amplasarea proiectoarelor se face astfel încât fluxul luminos să fie orientat din părțile laterale și de jos pentru a evidenția coroana. Adoptarea acestei soluții se face evitând posibilitatea de orbire fiziologică la privirea directă a sursei de către observatorii care circulă în imediata vecinătate a arborelui (fig. I.12.27 a).

- *Arbori izolați cu coroana rară* (salcia plângătoare, salcâmul etc.). Unul sau mai multe proiectoare pot fi amplasate la sol, cât mai aproape de trunchiul arborelui și orientate către zenit. Proiectoarele se amplasează în nișe special construite, în pământ, cu protecție realizată dintr-un grătar metalic și se asigură legătura la canalizare pentru evacuarea apelor de ploaie. Această soluție se recomandă numai în cazul arborilor cu frunziș rar și de culoare deschisă. Efectele luminoase deosebite se pot obține când arborele respectiv se găsește într-un mediu întunecat (fig. I.12.27 b).

- *Grup format din mai mulți arbori din aceeași specie, cu coroana deasă și dezvoltată mult pe verticală* (plopul, bradul, chiparosul). Efecte spectaculoase se obțin iluminând arborii din planul al doilea, îndepărtat de observator. Arborii din primul plan vor apărea iluminați datorită efectului de siluetă (obținându-se una sau mai multe siluete pe un fond luminos). Se recomandă această soluție pentru a fi adoptată acolo unde siluetele arborilor se pot observa în întregime, acestea nefiind obturate de alte vegetații sau construcții existente în zonă.

- *Grup format din aceeași specie de arbori cu coroană rară* (mesteacănul alb, pinul etc.). În general, sunt interesant de iluminat în măsura în care coroana lor prezintă aspecte particulare deosebite. În acest caz iluminarea lor se face în același mod, descris în paragraful anterior. De remarcat faptul că efectele obținute sunt aceleași iarna ca și vara, chiar și pentru arborii care nu-și păstrează frunzișul tot timpul anului.

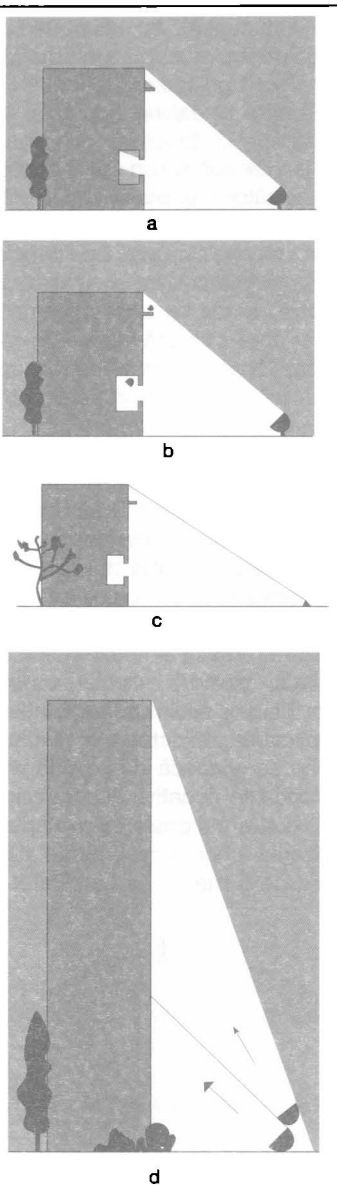


Fig. I.12.26:
a, b, c,- variante amplasare AIL la clădirile de înălțime mică; d: SIL clădire înaltă.

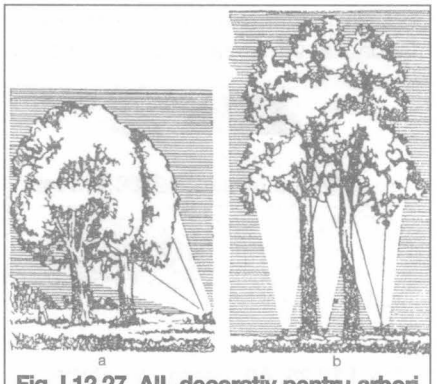


Fig. I.12.27. AIL decorativ pentru arbori

- *Grup format din mai multe specii de arbori.* Se recomandă realizarea unui iluminat care să redea grupul în perspectivă şi relief. Trebuie să se ia în considerare următoarele aspecte: forma şi dimensiunile coroanelor, culoarea frunzişului, alegerea culorii aparente a surselor de lumină, amestecul de culoare etc. Se evită realizarea unui iluminat de ansamblu al grupului, care ar duce la crearea unui decor plat şi inexpresiv.

- *Perdea de arbori din aceeaşi specie*, întâlnită de obicei la marginile grădinilor. Iluminatul acestor arbori este interesant pentru a pune în evidenţă limitele grădinii sau pentru a estompa o zonă mare scufundată în întuneric. Acest „perete de lumină" poate anula efectele luminoase create pe obiective situate în faţa acestuia. În acest caz se recomandă contrastul de culoare.

- *Grup alcătuit din diverse specii de arbuşti.* Atracţia exercitată de frumuseţea arbuştilor asupra observatorului variază, în funcţie de anotimp. Din acest motiv se recurge la realizarea unor sisteme de iluminat mobile, unde proiectoarele sunt uşor de deplasat în alte zone de interes, iar racordarea se face prin intermediul unor prize etanşe. O astfel de grupare de arbuşti, corespunzător iluminată, care să pună în evidenţă culoarea şi forma florilor şi a frunzelor, poate crea efecte spectaculoase pentru observatori. Nu se recomandă un iluminat de ansamblu care ar crea un decor plat, inexpresiv. Este necesară utilizarea unui singur tip de sursă, cu o redare foarte bună a culorilor.

- *Boltă creată din aceeaşi specie de arbori, aflată deasupra unei alei.* În acest caz se poate realiza un iluminat de circulaţie pietonal combinat cu un iluminat decorativ. Se utilizează proiectoare cu o distribuţie largă, montate pe stâlpi aflaţi în rând cu arborii, la aproximativ 2 m înălţime şi orientate către boltă.

- *Grădini cu flori şi plante mici.* O soluţie bună, în acest caz, este utilizarea unor aparate de iluminat de tip ciupercă (fig. I.12.28), special construite în acest scop.

- *Masive de plante perene.* Florile acestor plante au o durată scurtă de viaţă, în timpul unui sezon. Este recomandabilă utilizarea unor sisteme de iluminat cu proiectoare mobile pentru a putea fi deplasate în funcţie de zona de interes. Fluxul luminos trebuie dirijat de sus în jos, prin utilizarea proiectoarelor de dimensiuni mici cu suporturi de susţinere de înălţime redusă.

- *Masive de plante anuale şi bianuale.* Iluminatul se realizează în mod asemănător cu cel prezentat la punctul anterior, cu deosebirea că florile acestor plante durează un timp îndelungat în cursul unui an, fiind posibilă utilizarea unor aparate de iluminat fixe.

- *Peluzele.* Într-un decor luminos bine echilibrat, un „covor" verde uşor iluminat este recomandabil pentru a sublinia linia despărţitoare între diferite vegetaţii. Pentru iluminatul peluzelor se recomandă proiectoare montate pe suporturi de înălţime mică. Pentru peluzele de dimensiuni reduse se recomandă folosirea AIL de înălţimi mici (tip bornă luminoasă), cu distribuţie semidirectă pentru a asigura nivelul de iluminare dorit pe gazon.

- *Fântâni arteziene, jocuri şi căderi de apă*

Un joc de apă sau o fântână arteziană corespunzător iluminată, după lăsarea întunericului, poate schimba întregul aspect al zonei în care este amplasată, dând viaţă prin culoare şi armonie.

Pentru realizarea unor sisteme de iluminat care să pună în valoare jocurile de apă, fântânile arteziene şi suprafeţele lacurilor, trebuie să se ţină seama de o serie de aspecte:
- alegerea corespunzătoare a aparatelor de iluminat şi a puterii surselor, în funcţie de dimensiunile şi tipul jetului;
- corelarea culorii aparente a surselor alese pentru jocurile de apă şi fântânile arteziene cu culoarea surselor utilizate în iluminatul utilitar;
- utilizarea apelor limpezi şi liniştite ca oglindă pentru reflectarea imaginii unor clădiri, sculpturi, vegetaţie etc.;
- amplasarea reflectoarelor astfel încât să nu se producă orbire prin reflexie, cu influenţe negative asupra circulaţiei rutiere sau pietonale din apropiere;
- utilizarea unor echipamente cu grad mare de protecţie la umiditate;
- instalaţia electrică să fie de tip etanş la scufundarea în apă şi prevăzută cu sisteme de protecţie împotriva electrocutării destinate mediilor foarte periculoase, conform normelor în vigoare;
- alimentarea la tensiuni nepericuloase (12 sau 24 V), pentru cazul în care accesul persoanelor la AIL este posibil;
- fixarea aparatelor de iluminat în bazin pentru a nu fi smulse de jetul de apă;
- întreţinerea corespunzătoare a sistemului de iluminat.

În cazul fântânilor arteziene, sistemele de iluminat trebuie să se realizeze în funcţie de tipul jocului de apă jeturi: - verticale; oblice (aproape verticale); înclinate (aproape orizontale); jeturi de pulverizare; cascade artificiale.

Sistemele de iluminat destinate jeturilor verticale sunt realizate prin amplasarea a 3...9 aparate de iluminat la baza jetului cu orientarea fluxului luminos pe verticala locului (fig. I.12.29). Existenţa mai multor jeturi verticale iluminate creează imaginea unor coloane luminoase.

Sistemele de iluminat destinate jeturilor oblice se realizează prin amplasarea unor aparate de iluminat la baza fiecărui jet astfel încât fluxul luminos să urmărească traseul acestuia şi alte aparate de iluminat amplasate în locul unde are loc căderea jetului de apă, cu flux orientat pe verticala locului (fig. I.12.30) Numărul aparatelor de iluminat, distribuţia şi puterea surselor se aleg în funcţie de înălţimea şi grosimea jetului de apă. La căderea jetului de apă se recomandă utilizarea unor aparate de iluminat cu distribuţie largă, iar la baza jetului, utilizarea aparatelor de iluminat cu distribuţie concentrată.

Sistemele de iluminat destinate jeturilor cu pulverizare se realizează prin utilizarea unor aparate de iluminat cu distribuţie largă şi a unor surse de putere mică, iar amplasarea AIL se face la baza jetului de apă. Efectul obţinut este spectaculos datorită particulelor de apă foarte fine rezultate în urma pulverizării (fig. I.12.31).

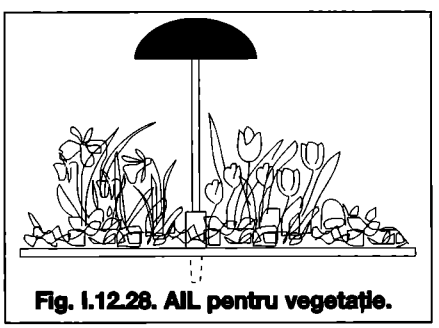


Fig. I.12.28. AIL pentru vegetaţie.

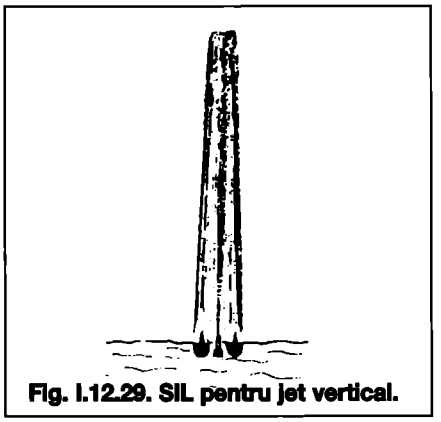


Fig. I.12.29. SIL pentru jet vertical.

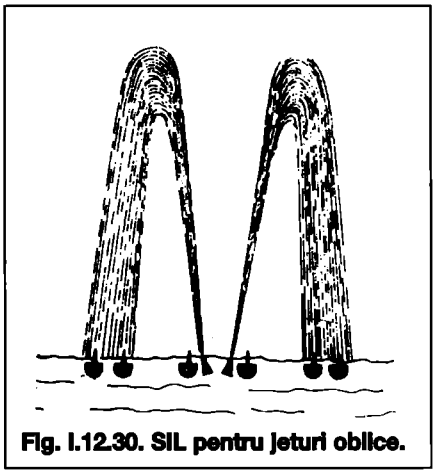


Fig. I.12.30. SIL pentru jeturi oblice.

Sisteme de iluminat destinate jeturilor înclinate sunt realizate în mod asemănător cu cele de la punctul anterior (fig. I.12.32).

Sistemele de iluminat destinate căderilor de apă sau cascadelor artificiale se realizează prin amplasarea aparatelor de iluminat la baza deversorului, cu fluxul luminos orientat împotriva căderii de apă. Aparatele de iluminat au o distribuție largă, iar puterea surselor se alege în funcție de înălțimea jetului.

În ultimii ani, pentru iluminatul fântânilor arteziene și a jocurilor de apă se utilizează tot mai mult fibrele optice și lămpile tip LED datorită numeroaselor avantaje pe care le implică folosirea acestora (§. 4).

12.2.5. Arii utilitare

În această categorie se înscriu sistemele de iluminat exterior destinate șantierelor, platformelor industriale deschise, parcajelor platformelor energetice (stații de transformare de înaltă și foarte înaltă tensiune), exploatărilor carbonifere deschise, depozite de combustibil deschise ș.a.

• Aspecte cantitative

Nivelul de iluminare are, în general, valoarea de 20 lx, dacă condițiile unor sarcini vizuale speciale nu impun alte niveluri mai ridicate, dar care însă nu depășesc 50 lx. Pentru șantierele de construcții la care se lucrează, în condițiile sistemului de iluminat electric, nivelurile de iluminare vor fi determinate de sarcina vizuală specifică (cofrare, asamblare armături, turnare betoane, lucrări de finisaje ș.a.).

• Aspecte calitative

În general, problema calității iluminatului nu este atât de importantă în aceste sisteme, nivelul exigențelor fiind scăzut. Astfel, pentru evitarea inconfortului produs de neuniformitatea iluminărilor, se recomandă menținerea factorilor de uniformitate în limitele:

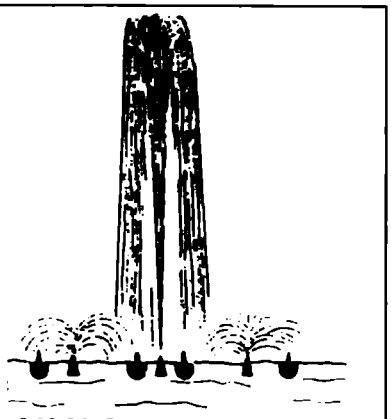


Fig. I.12.31. SIL pentru un jet vertical și jeturi cu pulverizare.

$E_{min}/E_m \geq 0,33$, $E_{min}/E_{max} \geq 0,2$ dacă nu se impun alte condiții speciale.

Pentru evitarea orbirii directe, fiziologice produse de luminanța surselor, alegerea de aparate de iluminat cu unghiuri de protecție mari (proiectoare sau AIL public) este suficientă în scopul eliminării acestui efect supărător.

În privința redării culorilor nu se pun probleme speciale motiv pentru care se aleg sursele de lumină cu eficacitate luminoasă cât mai ridicată, cum ar fi lămpile cu vapori de sodiu.

• Caracteristicile sistemelor de iluminat destinate platformelor și spațiilor mari deschise

Sistemele de iluminat se pot realiza cu surse punctiforme:

A - de putere mică, uniform distribuite și montate pe stâlpi de înălțime obișnuită în iluminatul public (8...12 m);

B - concentrate în baterii de reflectoare montate pe stâlpi înalți (20... 30 m și mai mult).

Varianta B reprezintă o soluție mai economică și, deseori, funcțională, amplasarea pe stâlpii înalți specializați sau comuni cu alte destinații nederanjând procesul tehnologic sau utilajele de pe platformă și permițând o iluminare relativ uniformă (printr-o orientare convenabilă a proiectoarelor utilizate).

De exemplu, în cazul platformelor energetice, stâlpii de paratrăsnet se pot utiliza, în comun, și pentru montarea bateriilor de proiectoare.

Accesul la bateriile de proiectoare de pe stâlpii înalți trebuie asigurat prin scări protejate împotriva căderii, în așa fel încât reglarea și întreținerea surselor și a AIL să se facă ușor și eficient.

Sistemele de amplasare sunt, în general, determinate de natura și geometria spațiului deschis iluminat, preferându-se fie o distribuție perimetrală, când deschiderile nu depășesc 50...100 m (fig. I.12.33 a) fie o distribuție în incintă (uniformă sau neuniformă) determinată de condițiile specifice tehnologice (fig. I.12.33 b).

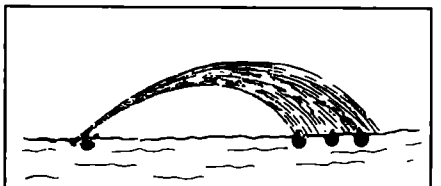


Fig. I.12.32. SIL pentru jeturi înclinate.

12.2.6. Iluminatul publicitar și de reclamă

Firmele luminoase au rolul de a atenționa observatorul și de a-l atrage, ele trebuind să îndeplinească următoarele condiții: să aibă emitanță uniformă, forma lor să fie bine conturată și să aibă o aparență estetică corespunzătoare atât seara (noaptea), cât și ziua, și să fie atractive prin formă culoare și contrast.

Firmele luminoase se pot realiza în mai multe variante: *tuburi modelate* cu descărcare în gaze (cu coloană pozitivă), panouri luminoase de culoare albă sau galben nesaturat cu litere sau desene de culoare neagră (sau o altă culoare rece saturată), *panouri luminate, tuburi de lumină, fibre optice și LEDuri.*

Tuburile modelate cu descărcări au următoarele avantaje: varietate mare a culorilor ce se realizează prin amestecuri de gaze, modelare ușoară după forma dorită și luminanțe mari ceea ce le face ușor vizibile de departe. Dezavantajele lor constau în alimentarea la tensiuni înalte (cu transformatoare specializate amplasate în apropiere) și în faptul că structura lor arată mult mai puțin favorabil ziua decât noaptea.

În fig. I.12.34 sunt date detalii privind modul de realizare a firmelor din tuburi modelate. Astfel, variantele *a*, *b* și *c* dau o imagine laterală de noapte neconturată, spre deosebire de variantele *d*, *e* și *f*, a căror imagine este

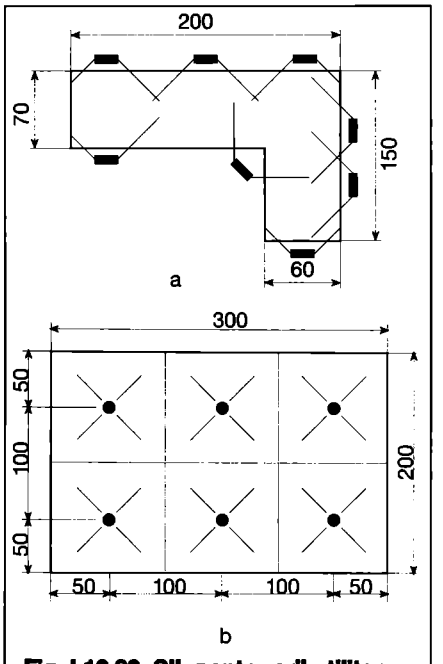


Fig. I.12.33. SIL pentru arii utilitare.



Fig. I.12.34. Profile utilizate pentru literele firmelor luminoase

îmbunătățită ziua și noaptea, iar varianta *g* asigură o imagine de noapte foarte bună (tubul fiind îngropat, nu poate da imagini laterale supărătoare). Ecranarea tubului în varianta *h* și conturarea literei prin efectul de siluetă conduc la o imagine atractivă. Utilizarea ca ecran a unui material alb perfect difuzant pe fondul întunecat (varianta *i)* dă o imagine plăcută atât ziua cât și noaptea. De menționat că, în cazul ultimelor variante, confecționarea firmelor luminoase este mai scumpă.

Panourile luminoase se execută din material plastic opal pe care sunt structurate literele sau desenul publicitar. Ele au marele avantaj că pot utiliza lămpi fluorescente obișnuite însă nu pot crea efecte deosebit de spectaculoase. Pentru ca emitanța panoului opal să fie uniformă, lămpile fluorescente trebuie să fie suficient de dese, în funcție de gradul de difuzie al materialului (se recomandă d = 2/3 a, conform fig. I.12.35).

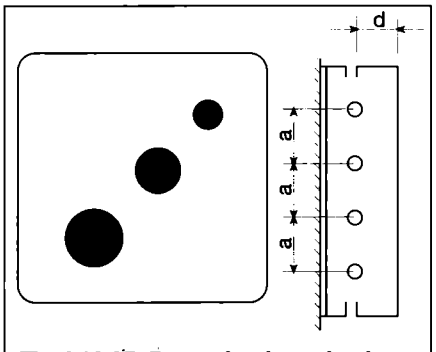


Fig. I.12.35. Panou luminos destinat unei reclame luminoase alb-negru.

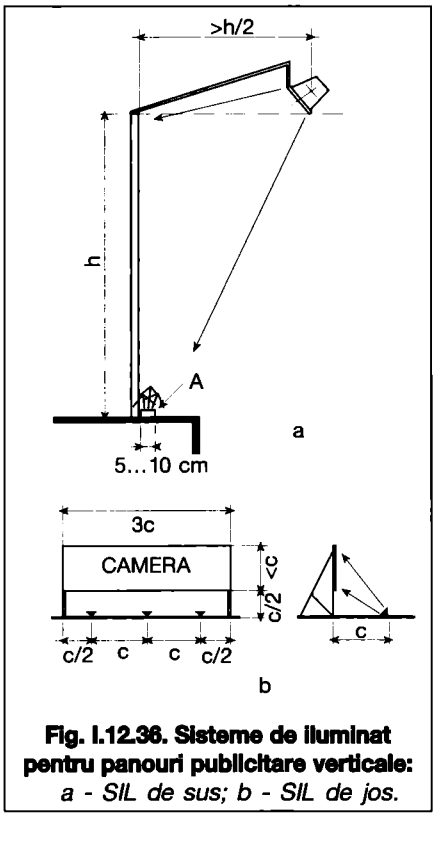


Fig. I.12.36. Sisteme de iluminat pentru panouri publicitare verticale: *a - SIL de sus; b - SIL de jos.*

Tuburile de lumină și *fibrele optice* se pot folosi, în mod uzual, pentru conturul luminos al unor structuri spațiale de reclamă. *Fibrele optice* creează aspecte spectaculoase în anumite situații particulare.

Panourile sau *reclamele luminate* se caracterizează prin aceea că sunt bine văzute și la lumina naturală, imaginea de seară/noapte trebuind să fie similară, dar mai atractivă. Ele se pot realiza în planul fațadei unei clădiri sau în plan perpendicular pe aceasta.

În continuare se prezintă câteva sisteme pentru iluminatul acestor reclame:
- panou publicitar care are la bază o mică suprafață orizontală (A) reflectantă (fig. I.12.36 a);
- panou publicitar iluminat cu mici proiectoare cu emisie într-un unghi solid mare (fig. I.12.36 b);
- litere iluminate prin efect de siluetă (fig. I.12.37).

12.2.7. Terenuri de sport

Sistemele de iluminat destinate terenurilor de sport trebuie să realizeze atât condiții optime de vizibilitate pentru jucători, în așa fel încât mediul luminos să asigure rapiditatea și precizia acțiunilor specifice sportului practicat, cât și posibilitatea urmăririi sportivilor, în condiții optime, de către spectatorii prezenți în tribune.

Din punct de vedere estetic, SIL trebuie să fie integrat în ambianța arhitecturală. Pentru manifestările sportive transmise prin televiziune (în direct și/sau prin înregistrări), SIL vor asigura exigențele necesare realizării unor imagini de înaltă calitate (nivel de iluminare mai mare și o foarte bună redare a culorilor).

• Aspecte cantitative

În tabelul I.12.10 sunt indicate nivelurile de iluminare medie orizontală pentru diferite categorii de sporturi.



Fig. I.12.37. Sistem de iluminat pentru litere verticale iluminate prin efect de siluetă: 1 - alb mat.

Acestea nu satisfac în mod obișnuit necesitățile transmisiilor TV și de filmare color care necesită nivelurile minime orizontale și verticale indicate în tabelul I.12.11.

Distribuția fluxului luminos al aparatelor de iluminat caracteristice (proiectoare) este în exclusivitate directă. Cu cât sursa de lumină este mai depărtată de teren, cu atât fluxul luminos va fi mai concentrat într-un unghi solid mai mic pentru o eficacitate mai mare a sistemului.

• Aspecte calitative

Distribuția luminanțelor în planul de desfășurare a activității sportive este controlată prin factorii de uniformitate a iluminărilor: $U_1=E_{min}/E_m$ și $U_2=E_{min}/E_{max}$ indicați în tabelele I.12.10. și I.12.11.

Distribuția luminanțelor în câmpul vizual al jucătorilor pune probleme deosebit de dificile, orbirea directă produsă de sursele de lumină cu luminanță ridicată practic imposibil de evitat. Totuși, se poate realiza o diminuare acceptabilă a inconfortului adoptând următoarele măsuri:
- AIL cu unghi de protecție mare;
- se alege înălțimea de montare a surselor destul de mare pentru ca acestea să se situeze la periferia câmpului vizual sau chiar în afara sa (orizontal și paralel cu direcția de acțiune sau joc);
- sursele de lumină se grupează (concentrate) sub formă de benzi sau puncte încât numărul de surse vizibil într-o anumită direcție să fie minim.

Pentru spectatori, problema este mai puțin dificilă, poziția acestora din tribune (în special cei amplasați la înălțime mare) oferind, în mod obișnuit, o protecție vizuală corespunzătoare.

Culoarea luminii produsă de surse impune exigențe deosebite pentru terenurile cu spectatori și cu transmisiuni TV sau filmări color. În aceste condiții este necesară asigurarea unui indice general de redare *Ra>80*, ceea ce corespunde lămpilor cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune și adaosuri cu halogenuri (MH). Pentru antrenament și divertisment redarea nu mai este necesară, sursele cu vapori de sodiu de înaltă presiune fiind satis-

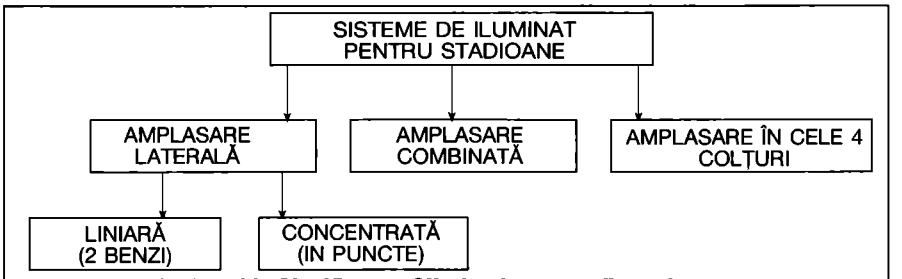


Fig. I.12.38. Clasificarea SIL destinate stadioanelor.

făcătoare şi deosebit de eficiente. În tabelul I.12.10 se dau atât indicii de redare, cât şi temperaturile de culoare recomandate.

Modelarea mingii (la jocuri) ca şi a sportivilor se realizează printr-o iluminare verticală ridicată la valorile indicate la §3.2. Aceasta se obţine prin montarea laterală a AIL faţă de teren (în linie sau concentrat).

• Caracteristicile sistemelor de iluminat destinate terenurilor de sport

Varietatea sporturilor determină o varietate de SIL specifice, în general, fiecărei activităţi sportive corespunzându-i o anumită soluţie. Desigur, există şi prevederi comune ca, de exemplu, pentru sporturile ce se desfăşoară pe un stadion (fotbal şi rugbi), sistemul de iluminat fiind unic. În cele ce urmează sunt descrise principalele sisteme şi soluţii specifice terenurilor de sport.

- *Stadioane*

Din punct de vedere funcţional, stadioanele pot fi destinate, în exclusivitate, jocurilor (fotbal, rugbi) sau jocurilor şi atletismului.

În mod obişnuit SIL sunt similare.

SIL caracteristice sunt indicate în fig. I.12.38, iar schema în plan a acestor amplasări poate fi urmărită în fig. I.12.39.

Amplasarea laterală prezintă avantajul unei bune uniformităţi a iluminării verticale, favorabilă modelării corespunzătoare a mingii indiferent de poziţia acesteia.

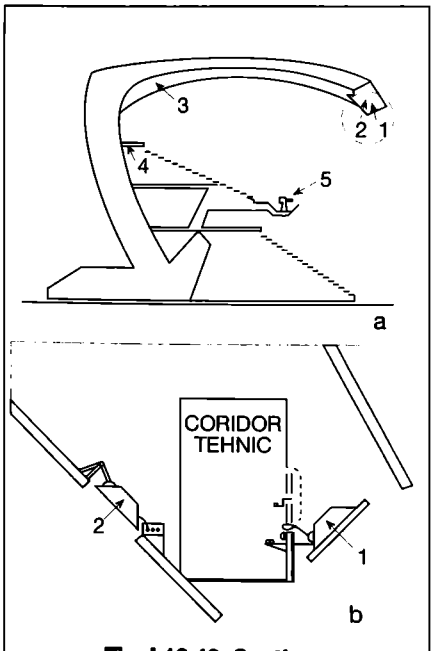


Fig. I.12.40. Secţiune prin tribuna stadionului:
a - secţiune transversală în ansamblu; b - detaliu;
1 - AIL destinate iluminatului terenului; 2, 3, 4 - AIL destinate iluminatului tribunelor; 5 - cameră TV.

Amplasarea liniară sau pe contur reprezintă o soluţie funcţională şi estetică, putând fi integrată armonios în soluţia arhitecturală de ansamblu. Sistemul corespunde realizării stadioanelor de mare capacitate, cu copertină în zona spectatorilor. Secţiunea prin tribuna unui astfel de stadion este prezentat în fig. I.12.40 a.

Integrarea estetică în arhitectura stadionului se poate face ca în fig. I.12.40 b, ce reprezintă o secţiune laterală prin partea construită a stadionului. AIL care formează banda luminoasă (1) sunt montate în copertină, putând fi întreţinute şi orientate din coridorul tehnic de acces. Se observă, de asemenea, AIL destinate iluminatului tribunelor (2, 3 şi 4).

Utilizarea surselor de lumină montate concentrat în baterii de AIL specializate constituie o soluţie economică şi funcţională, dar mai puţin estetică. Aceasta reprezintă avantajul unei amplasări independente de sistemul constructiv al stadionului. Înălţimea de montare se determină în funcţie de unghiul complementar de incidenţă ($\theta \geq 25°$) , aşa cum rezultă din fig. I.12.39 b. În acest caz trebuie asigurat accesul simplu pentru montare/întreţinere (pe scări sau cu ascensoare).

SIL destinate stadioanelor de antrenament şi divertisment necesită o rezolvare mult mai simplă. Astfel, soluţiile utilizate sunt realizate cu baterii cu surse concentrate pe piloni în cele 3 variante din fig. I.12.41.

În aceste variante stâlpii pot fi montaţi foarte aproape de teren (1,5...5 m), înălţimea de montare fiind mult mai mică (15...20 m) şi rezultând din condiţia unghiului complementar de incidenţă ($\theta \geq 25°$).

Pentru amplasarea bilaterală sau liniară sunt recomandate proiectoarele cu

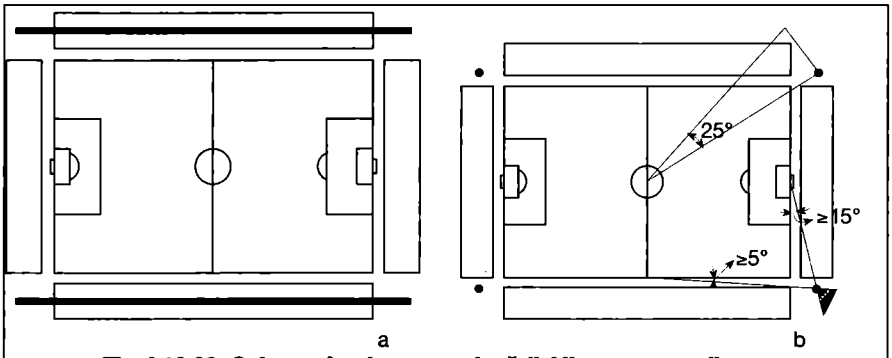


Fig. I.12.39. Schema în plan a amplasării AIL pentru stadioane:
a - amplasare laterală pe două benzi; b - amplasare în 4 colţuri.

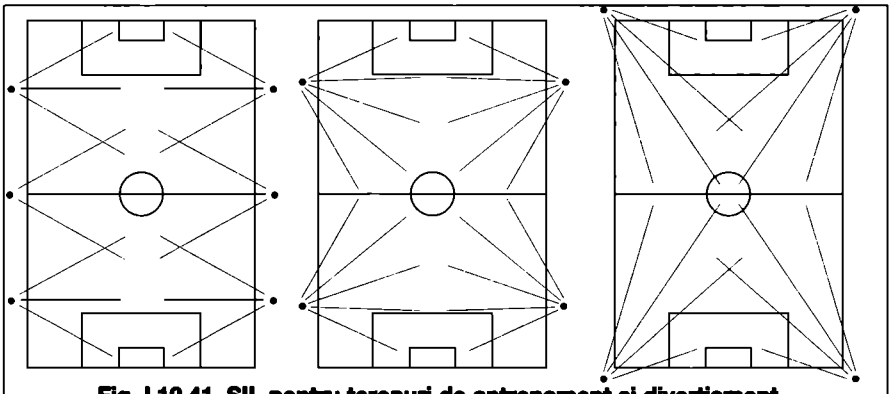


Fig. I.12.41. SIL pentru terenuri de antrenament şi divertisment.

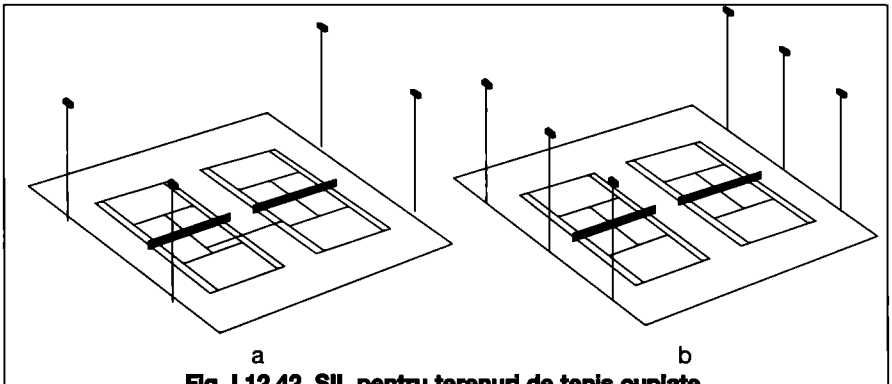


Fig. I.12.42. SIL pentru terenuri de tenis cuplate.

fascicul rectangular care vor acoperi bine terenul şi tuşele, iar pentru amplasarea în 4 colţuri sunt preferabile cele cu fascicul circular care generează „pete" de lumină eliptice, ce vor acoperi corespunzător terenul.

- *Terenurile de rugbi* se caracterizează prin câteva aspecte diferite faţă de cele de fotbal şi anume: prin dimensiunile şi zonele de interes (tuşe de capăt şi părţi).

Având în vedere aceste caracteristici, SIL se amplasează lateral, în apropierea terenului, utilizându-se 3 sau 4 stâlpi pe o latură, montaţi nesimetric. Înălţimea stâlpilor se determină, ca şi la terenurile de fotbal, recomandându-se un unghi $\theta \geq 25°$. Dacă construcţia tribunelor o permite, stâlpii pot fi apropiaţi până la 5 m de tuşa laterală. Sursele de lumină utilizate pot fi lămpi cu mercur de înaltă presiune cu adaosuri de halogenuri metalice MH (în cazul transmisiilor TV sau filmărilor color) sau lămpi cu vapori de sodiu de înaltă presiune pentru terenurile obişnuite şi de antrenament.

- *Terenurile de tenis* se iluminează ţinând seama de dimensiunile mici ale mingii de tenis, viteza mare de circulaţie a acesteia şi de poziţia, în permanenţă, variabilă a jucătorului. De asemenea, culoarea deschisă a mingii (albă sau galbenă) de reflectanţă mare văzută pe fondul relativ închis al terenurilor (roşu, verde etc.) sau al suprafeţelor verticale aflate pe laturile mici ale terenului ce trebuie să ofere contrast de culoare sau de luminanţă, constituie factori ajutători în realizarea unor condiţii corespunzătoare de vizibilitate pentru jucători şi spectatori.

Ca şi la celelalte sporturi, este importantă realizarea unei iluminări verticale capabile să dea relieful necesar (modelarea) mingii şi distingerea corectă a fileului.

SIL cu amplasare laterală a unor mici baterii de proiectoare satisfac exigenţele menţionate, utilizând câte 4 sau 6 stâlpi de 10...12 m pentru două terenuri cuplate (fig. I.12.42).

- *Piscinele în aer liber* cu bazine de înot destinate concursurilor sportive, jocului de polo pe apă, săriturilor de la trambulină şi baletului acvatic necesită SIL electric destinate continuării activităţii la lăsarea întunericului.

Sistemul de amplasare laterală cu sursele concentrate pe stâlpi este soluţia uzuală şi eficientă din punct de vedere funcţional şi economic. O astfel de rezolvare este prezentată în fig. I.12.43 pentru un bazin olimpic cu lungimea de 50 m.

Pentru a evita reflexia suprafeţei apei (producătoare de orbire reflectată), este necesar un unghi de incidenţă *(i)* cât mai mic, ceea ce conduce la o înălţime de montare mai mare decât la alte sporturi (15...35 m), în funcţie de înălţimea tribunelor, în aşa fel încât să nu fie coliniare cu rază vizuală a spectatorului cel mai dezavantajat.

Pentru diminuarea efectului de orbire reflectată, ca şi în cazul piscinelor acoperite, se poate utiliza cu succes iluminatul direct al apei din pereţii bazinului.

- *Patinoare pentru hochei*

SIL este determinat în funcţie de direcţia jocului de hochei, fiind indicată amplasarea laterală pe stâlpi înalţi (fig. I.12.44) care realizează şi evitarea orbirii reflectate ce poate fi produsă de suprafaţa gheţii (unghiurile de incidenţă trebuie să fie suficient de mari pentru protejarea spectatorilor). Pentru o bună uniformitate a iluminărilor şi evitarea orbirii reflectate, se recomandă sistemul cu AIL uniform distribuite, amplasate deasupra patinoarului, suspendate eventual pe reţea de cabluri. Acesta realizează condiţii bune de joc şi vizibilitate atât pentru spectatori cât şi pentru jucători.

- *Pistele de ciclism* necesită condiţii de vizibilitate pentru sportivi şi pentru spectatori.

Dacă pista este descoperită, se utilizează un sistem perimetral, uniform distribuit, pe stâlpi, în aşa fel încât spectatorii din tribune să nu fie expuşi orbirii directe fiziologice. În mod uzual înălţimea stâlpilor *(h)* este cel puţin egală cu lăţimea pistei sau mai mare, iar distanţa *(d)* dintre stâlpi va fi $d = (1...1,5)\ h$. Pentru terenurile de antrenament stâlpii se pot amplasa chiar lângă pistă, iar pentru cele cu tribune, în spatele acestora, caz în care înălţimile se măresc.

- *Pârtiile de schi şi bob.*

Deşi, de regulă, concursurile de schi şi bob se desfăşoară, în condiţii obişnuite, ziua, totuşi există SIL electric utilizate în cazurile speciale (de exemplu, când temperatura în timpul zilei este prea ridicată datorită insolaţiei). În general, SIL pentru o pârtie de schi este asemănător celui destinat unei căi de circulaţie (sistem cu puncte de lumină uniform distribuite situate la o înălţime de 6...8 m şi la o distanţă de 25...30 m). Stâlpii de susţinere se montează la cel puţin 1,5...2 m de elementele de protecţie aflate pe marginea pistei pentru evitarea accidentelor. Trambulinele de schi reprezintă un caz particular al cărui SIL se realizează prin şiruri luminoase montate în balustrade-

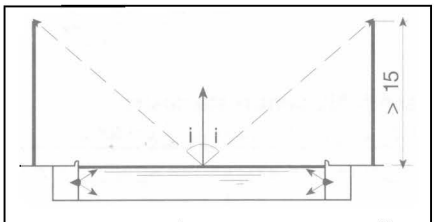


Fig. I.12.43. SIL pentru o piscină olimpică.

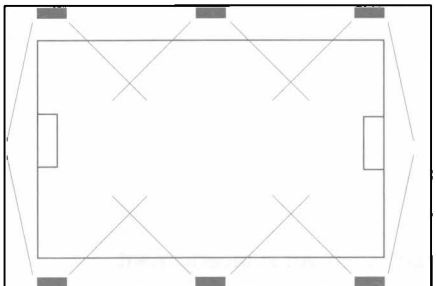


Fig. I.12.44. SIL cu amplasare bilaterală cu 6 stâlpi, destinată unui patinoar.

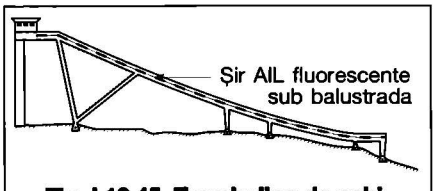


Fig. I.12.45. Trambulina de schi iluminată cu şiruri de AIL cu LF montate sub balustradă.

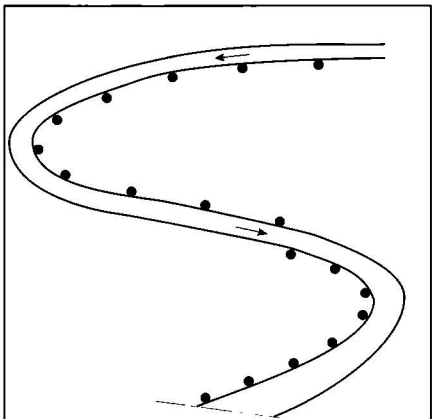


Fig. I.12.46. Fragment din traseul unei piste de bob.

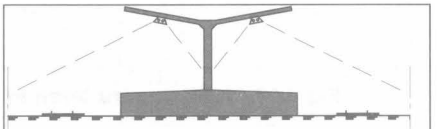


Fig. I.12.47. SIL pentru un peron acoperit realizat cu AIL cu lămpi fluorescente tubulare montate paralel cu direcţia de circulaţie.

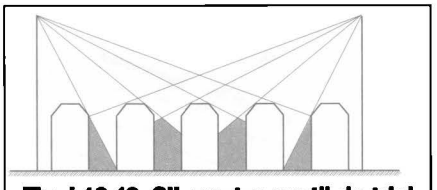


Fig. I.12.48. SIL pentru spaţii de triaj cu marcarea zonelor de umbră dintre vagoane.

le laterale, realizate cu AIL echipate cu lămpi fluorescente (fig.I.12.45).

Pentru pârtiile de bob construite sub forma unui şanţ cu adâncime variabilă, AIL se amplasează întotdeauna pe partea interioară a curbelor, pentru a evita atingerea lor accidentală la coborârea bobului (fig. I.12.46). AIL se îndesesc la curbe pentru a oferi condiţii mai bune de vizibilitate.

12.2.8. Gări, triaje, porturi, aeroporturi

SIL aferente acestor arii au aspecte comune din punct de vedere cantitativ şi calitativ cu cele ale spaţiilor utilitare. Fac excepţie sistemele de semnalizare luminoasă a aeroporturilor (piste decolare/aterizare). În continuare se pun în evidenţă aspectele specifice.

- *Sistemele de iluminat destinate gărilor şi triajelor de cale ferată*

Deoarece activitatea pe căile ferate este permanentă, sistemele de iluminat trebuie să asigure desfăşurarea traficului în condiţii de securitate la lăsarea întunericului. De asemenea, trebuie asigurată manevrarea trenurilor, întreţinerea acestora, a căilor ferate şi anexelor, precum şi circulaţia călătorilor în incinta gării.

Nivelurile de iluminare minime în zonele de circulaţie a călătorilor sunt de 15 lx (în plan orizontal) şi de 10 lx (în plan verical). Pentru zonele liniilor, macazurilor ş.a. acestea variază între 1 şi 3 lx, iar pentru spaţiile de triaje, între 1 şi 30 lx conform normelor româneşti.

- *Sistemele de iluminat destinate peroanelor acoperite* se realizează prin AIL liniare montate paralel cu direcţia de circulaţie sub copertină şi distribuite neuniform, în aşa fel încât nivelurile din zona de acces în tren să fie mai mari (fig. I.12.47). În cazul peroanelor neacoperite se utilizează AIL uzuale în iluminatul public, montate pe stâlpi de înălţime mică (tronconice, sferice sau alte forme), echipate cu lămpi cu vapori de mercur de înaltă presiune.

Nu este recomandabilă utilizarea lămpilor cu vapori de sodiu pentru a nu fi confundate de departe cu culoarea verde utilizată în semnalizările feroviare.

Pentru *pasajele pietonale* se utilizează, dată fiind înălţimea redusă, acelaşi tip de aparat de iluminat şi sursă. În cazul în care, constructiv, este posibil, AIL se integrează într-un plafon dublu. Soluţia este estetică şi funcţională, dar mai scumpă.

- *Sistemele de iluminat destinate zonei căilor ferate* se realizează, în funcţie de mărimea deschiderii sau spaţiului de triaj, cu puncte uniform distribuite (deschideri mici), pe stâlpi mici, sau concentrat cu baterii de proiectoare pe stâlpi de înălţime mare.

În general, se montează baterii de proiectoare în dispoziţie bilaterală, faţă în faţă.

În cazul unui număr mare de linii, pentru a evita micşorarea coeficientului de umbrire, se introduc stâlpi şi pe zona mediană. Datorită volumului vagoanelor şi reflectanţei foarte mici a suprafeţei acestora, între ele apar zone de umbră foarte pronunţată, aşa cum se vede şi în fig. I.12.48.

- *Liniile de primire şi expediere ale trenurilor de călători* se echipează cu un sistem uniform distribuit realizat cu AIL amplasate pe stâlpi de înălţime mică (ca în iluminatul public) echipate cu lămpi cu vapori de mercur de înaltă presiune.

- *La liniile de primire şi expediere a trenurilor de marfă*, zona liniilor de manevră, zona de încărcare şi descărcare, în funcţie de deschiderea spaţiului, se utilizează fie sisteme uniform distribuite, fie concentrate.

- *Grupele de primire şi expediere ale triajelor*, zona de acumulare a vagoanelor ş.a. se echipează, de asemenea, în funcţie de deschidere cu unul din cele două sisteme menţionate.

Zona de împingere (ascendentă) se echipează cu un sistem de iluminat uniform distribuit. Vârful pantei este prevăzut cu iluminat local cu un proiector montat pe cabină şi orientat către vagon. Partea descendentă şi zona macazurilor se echipează cu un sistem de iluminat cu baterii de proiectoare montate pe stâlp.

Atât în funcţionarea normală, cât şi în regim tranzitoriu, sursele de lumină utilizate trebuie să aibă o culoare aparentă care să evite confundarea acestora cu orice semnal luminos specific activităţilor desfăşurate.

Datorită acestui considerent, lămpile cu vapori de sodiu de joasă şi înaltă presiune se utilizează în aşa fel încât să nu poată fi confundate cu semnalele luminoase specifice. Din acest motiv, sunt preferate lămpile cu vapori de mercur care au spectre mult diferite de culorile de semnalizare. Sursele de lumină ce se află pe direcţia semnalelor luminoase se ecranează pentru ca mecanicul de locomotivă să fie protejat împotriva orbirii directe fiziologice, condiţie importantă pentru distingerea corectă a semnalizării tehnologice.

Deprecierea sistemului de iluminat în zona căilor ferate cu tracţiune cu aburi este mult mai accentuată decât la alte sisteme de iluminat exterior, datorită degajărilor de fum şi gaze de ardere. Datorită acestui considerent, factorii de menţinere ce se for lua în calcul vor fi mai scăzuţi (M_f = *0,5...0,6*) pentru a compensa acest dezavantaj.

- **Sistemele de iluminat destinate porturilor maritime sau fluviale**

Acestea au rolul de a asigura încărcarea şi descărcarea navelor, circulaţia maşinilor de transportat sau ridicat, circulaţia pasagerilor.

Nivelurile de iluminare recomandate variază între 5 şi 10 lx, iar pentru zonele de circulaţie a pasagerilor între 20 şi 30 lx.

Sistemele de iluminat pentru zonele de încărcare-descărcare (danele portului), în funcţie de mărimea vaselor şi danelor respective, pot fi cu:

- AIL uniform distribuite (ca în iluminatul public cu înălţimi ale stâlpilor de 8...12 m);
- AIL concentrate în baterii de proiectoare ca în cazurile spaţiilor mari, descoperite, montate pe stâlpi înalţi de 25...30 m.

- **Sistemele de iluminat şi semnalizare destinate aerodromurilor**

Aceste sisteme reprezintă un caz particular al spaţiilor mari, descoperite, care impun exigenţe deosebite. În funcţie de zona iluminată, există două categorii de sisteme de:

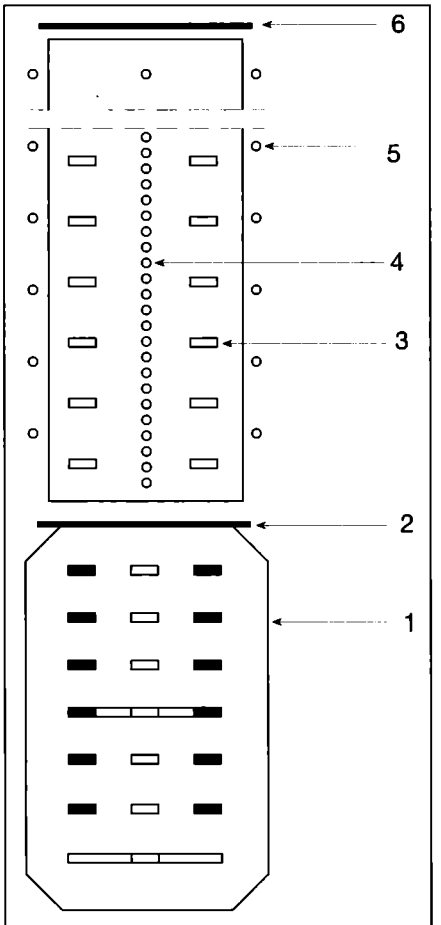


Fig. I.12.49. Sistemele de iluminat de semnalizare destinate unei piste de aerodrom:
1 - de apropiere; 2 - de prag; 3 - a zonei de contact; 4 - axial; 5 - lateral de marcare; 6 - de marcare a sfârşitului pistei.

a) semnalizare şi
b) circulaţie; staţionare ş.a.;

a) Sistemele de iluminat de semnalizare pentru pistele aerodromurilor trebuie să asigure condiţiile de aterizare sau decolare în condiţii de securitate şi ghidajul vizual pentru apropierea, aterizare şi părăsirea pistei către staţionare. Ghidajul vizual, condiţie esenţială de securitate, se obţine prin forma AIL, amplasarea şi culoarea acestora. Dat fiind caracterul internaţional al zborurilor, sistemele destinate pistelor sunt reglementate prin normele internaţionale elaborate de Convenţia Internaţională pentru Aviaţia Civilă (ICAO). În fig. I.12.49 este dată amplasarea, în plan, a sistemelor de semnalizare caracteristice unei piste complete. În funcţie de categoria pistei o parte din sisteme pot lipsi.

b) Sistemele de iluminat destinate suprafeţelor de circulaţie şi staţionare a avioanelor sunt necesare pentru asigurarea funcţionării permanente a aerodromurilor, având următoarele scopuri de asigurare a:
- iluminatului necesar pentru manevrarea aparatelor de zbor la sol; întreţinerii curente;
- securităţii şi supravegherii aerodromului;
- circulaţiei pasagerilor, bagajelor şi vehiculelor de întreţinere.

Nivelul de iluminare în plan orizontal, în funcţie de zona considerată, este de 20...50 lx; iar cel vertical, de 5...50 lx. Iluminarea verticală impusă pe zonele de circulaţie şi de întreţinere se realizează, de regulă, printr-un iluminat suplimentar cu proiectoare.

Nivelul de iluminare, în ansamblu, trebuie să descrească de la locul de parcare a avionului, pista de circulaţie până la pista de decolare, pentru a asigura adaptarea vizuală a pilotului. Orbirea directă fiziologică trebuie evitată pentru a asigura condiţii de vizibilitate şi securitate pentru: piloţii aparatelor ce circulă la sol; piloţii aparatelor care se apropie; controlorii de trafic (din turnul de control); personalul de întreţinere şi securitate al aeroportului. În acest scop se utilizează proiectoare echipate, de regulă, cu ecrane laterale, orientate corespunzător faţă de sensurile de circulaţie şi montate la o înălţime suficientă pentru a asigura protecţia vizuală. Înălţimea de montare a unui proiector este normată prin regulamentul internaţional ICAO, în funcţie de distanţa până la pista de zbor. Stâlpii înalţi folosiţi pentru proiectoare nu trebuie să fie masivi şi să constituie un obstacol vizual pentru piloţi şi personalul de control, amplasamentul şi alegerea ţinând seama şi de considerentele estetice de ansamblu. La sistemele de iluminat destinate circulaţiei, staţionării sau manevrării aparatelor de zbor nu se impun condiţii de redare a culorilor. Din acest motiv se preferă lămpi cu eficacitate luminoasă foarte mare (lămpi cu vapori de sodiu).

12.3. Comanda manuală şi automată a sistemelor de iluminat exterior

Una din căile de reducere a consumului de energie electrică în iluminatul exterior este comanda manuală şi/sau automată a SIL. Evitarea risipei se poate realiza printr-o concepţie raţională şi economică care să permită o exploatare în condiţii optime atât din punct de vedere economic cât şi tehnic. Astfel, se poate realiza, încă din faza de proiectare, un sistem ce poate fi sectorizat şi/sau secţionat. În cazul iluminatului public, o soluţie este reducerea nivelului de iluminare odată cu scăderea traficului, prin sectorizarea SIL.

De exemplu, într-un SIL public cu amplasare tip bilateral faţă în faţă (x+y) (fig. I.12.50 a), sectorizarea se poate obţine prin conectare separată a surselor notate cu x şi y în perioadele de scădere a traficului.

Se obţine astfel o distribuţie bilaterală alternată, la un nivel de iluminare redus cu aproximativ 50 % şi la 50 % din puterea instalată. Chiar dacă uniformitatea nu mai poate fi obţinută, totuşi, condiţiile de circulaţie sunt acceptabile în condiţiile traficului scăzut de noapte. De asemenea, soluţia necesită un cost de investiţie suplimentar. În fig. I.12.50 b este dată o variantă economică din punct de vedere al investiţiilor care transformă amplasarea bilaterală, faţă în faţă (x+y) într-un sistem redus unilateral (x sau y) cu dezavantajul unei neuniformităţi transversale mari. De la caz la caz, condiţiile de proiectare specifice vor duce la alegerea soluţiei corespunzătoare. În general însă alegerea sistemului de iluminat public şi a celui de alimentare trebuie coordonată într-o concepţie sistemică, tehnico-economică.

În funcţie de frecvenţa traficului, de luminanţa fondului şi/sau a mediului sau de nivelul de iluminare, o altă soluţie constă în utilizarea AIL echipate cu mai multe surse de lumină care pot fi acţionate independent. Dezavantajul principal al acestei soluţii este gabaritul AIL care ar trebui să conţină 2, 3 sau chiar 4 surse de lumină şi aparatajul anex.

O altă posibilitate este reglarea fluxului luminos emis de AIL prin utilizarea fie a unui circuit balast-serie (fig. I.12.51), fie a unor regulatoare speciale. Principiul acestui circuit este înserierea, în circuitul lămpii, a unui dispozitiv adiţional cu ajutorul căruia se pot obţine reduceri ale fluxului

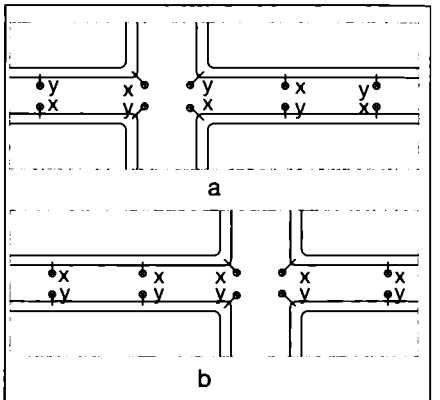


Fig. I.12.50. Exemple de sectorizare în SIL public:
a - *sectorizare bilaterală alternată;*
b - sectorizare unilaterală.

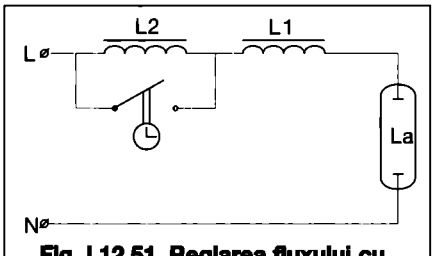


Fig. I.12.51. Reglarea fluxului cu ajutorul circuitului balast serie.

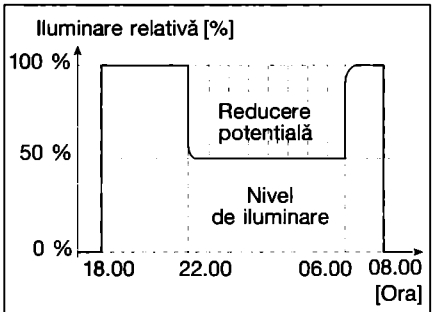


Fig. I.12.52. Reducerea iluminării pe timp de noapte cu 50 %.

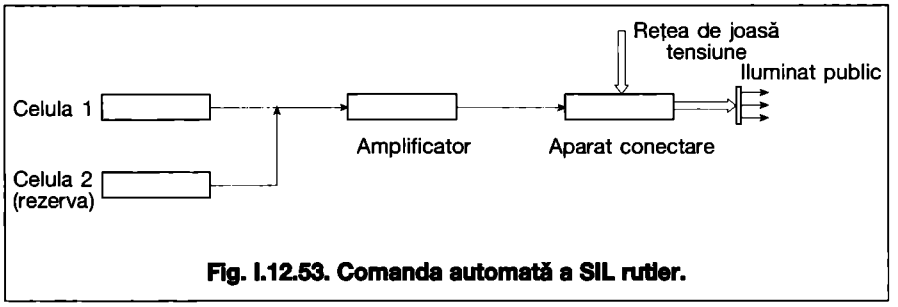


Fig. I.12.53. Comanda automată a SIL rutier.

luminos de până la 50 % la lămpile cu vapori metalici (cu excepția celor cu vapori de sodiu de înaltă presiune la care fluxul poate fi redus până la 35 %). Datorită caracteristicilor aparatajului anex, specific și naturii descărcării, orice acționare își are efectul după 3...10 minute de la inițiere.

Regulatoarele speciale oferă, prin intermediul unui microprocesor, posibilitatea reglării fluxului luminos între 0 și 100 % în funcție de tipul de lampă, volumul și natura traficului, structura îmbrăcămintei asfaltice, în sensul păstrării caracteristicilor luminotehnice care interesează (uniformitate, reducerea orbirii, ghidajul de optic etc.) cu un consum de energie redus.

În fig. I.12.52 este prezentată variația iluminării unui drum public pe durata unei zile utilizând una din metodele de reglare de mai sus.

În cazul celorlalte sisteme de iluminat exterior (pentru tuneluri rutiere, trafic pietonal, arii mari de lucru și/sau funcționale, decorative) se recomandă acționarea pe zone, comanda automată putându-se realiza în funcție de nivelul de iluminare, timp etc).

Trebuie menționat faptul că, în sistemele de iluminat rutier din țările dezvoltate, nu se adoptă, în mod curent, reglarea fluxului luminos. Aceasta se aplică, de regulă, pe căile de circulație secundare, aleile pietonale și iluminatul din parcuri.

Comanda SIL rutier se realizează automat, la lăsarea întunericului, prin sistemul automat prezentat în fig. I.12.53.

Comanda iluminatului de pază/securitate se realizează, de asemenea, automat (cu fotocelulă). Comanda automată a SIL de reducere a nivelului de iluminare se practică noaptea, după o anumită oră, prin sectorizarea și scăderea tensiunii de alimentare (în funcție de sursele de lumină și de componentele aparatajului electric).

Sistemele de iluminat exterior destinate activităților sportive se recomandă a fi proiectate cu acționare în trepte în funcție de tipul activității: întreținere, pregătire fizică, antrenament, competiție națională, internațională, transmisie TV color sau înregistrare pe peliculă.

Alegerea tipului de comandă este influențată de mulți parametri, astfel încât devine un proces complex care, bine rezolvat, conduce la rezultate economice importante.

I. Sisteme de iluminat

Capitolul 13

Punerea în funcțiune și menținerea sistemelor de iluminat

13.1. Punerea în funcțiune a sistemelor de iluminat

Reprezintă suma operațiunilor întreprinse care au ca rezultat funcționarea sistemului la parametrii nominali. La punerea în funcțiune se verifică atât funcționarea fiecărei componente în parte, cât și funcționarea sistemului în ansamblul său. Verificarea se face urmărind schema de conectare a unui AIL, din aval în amonte (fig. I.13.1).

Punerea în funcțiune a unui SIL se realizează urmând succesiunea operațiunilor, în care se:
- alimentează fiecare AIL în parte;
- verifică funcționarea corectă a acestora;
- remediază eventualele defecțiuni constatate;
- alimentează întregul SIL;
- verifică funcționarea corectă a SIL (sectorizare, interdependență, comandă automată);
- remediază eventualele defecțiuni constatate în sistem;
- pune în funcțiune SIL pentru situația normală de lucru.

Marcarea prin culori a izolației conductelor electrice se realizează astfel:
- verde/galben pentru conducte de protecție la șocuri electrice;
- albastru deschis pentru conductele neutre;
- alb sau cenușiu deschis pentru conducte mediane sau neutre;
- alte culori decât cele de mai sus (de ex.: roșu, albastru, maro) pentru conducte de fază și pol.

Utilizarea cu strictețe a codului de culori reprezintă o facilitate în montarea, menținerea și exploatarea sistemului electric. În întreaga instalație electrică dintr-o clădire se menține aceeași culoare de marcare pentru conductele ce aparțin aceleiași faze.

13.2. Menținerea sistemelor de iluminat

Nivelul inițial de iluminare produs de un SIL scade permanent în timpul funcționării datorită reducerii fluxului luminos emis de surse, a surselor care nu mai funcționează, a întreținerii necorespunzătoare a surselor de lumină, a AIL și/sau a reducerii reflectanțelor suprafețelor (reflectante) încăperii.

Iluminatul se poate menține la un nivel minim permis (numit valoare menținută) prin curățarea echipamentelor SIL, a suprafețelor reflectante ale încăperii și înlocuind lămpile care nu mai funcționează la parametrii normali, la intervale de timp bine stabilite, conform unui program. Datele unui astfel de program sunt prezentate în fig I.13.2.

În exemplul menționat, iluminarea sistemului neîntreținut scade la 40 % din valoarea inițială în aproximativ 3 ani și va continua să scadă. Dar prin curățare anuală, schimbări de lămpi și refacerea finisajelor încăperii după 3 ani, nivelul de iluminare scade la aproximativ 60 % din valoarea inițială.

Astfel, un program de întreținere bine conceput are ca efecte: menținerea iluminării în limite recomandate, reducerea costului energiei electrice, ambianța plăcută a încăperii. Dar, chiar și cu un astfel de program de întreținere, scăderi ale valorii iluminării sunt inevitabile. De aceea SIL trebuie proiectat ținând seama de aceste deprecieri, introducând în calcul un nivel de iluminare inițial mai mare decât cel necesar. Această valoare suplimentară este prevăzută prin factorul de menținere care trebuie luat în considerare.

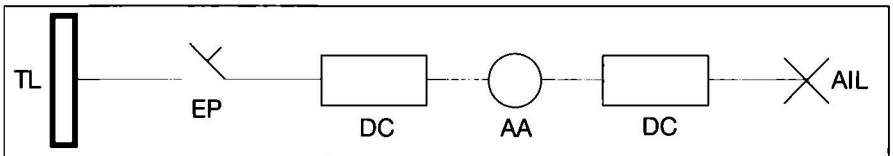


Fig. I.13.1. Schema de alimentare a unui AIL:
TL - tablou electric; EP - disjunctor (sau siguranță fuzibilă);
DC - doze de conexiuni; AA - aparat de acționare (manual sau automat).

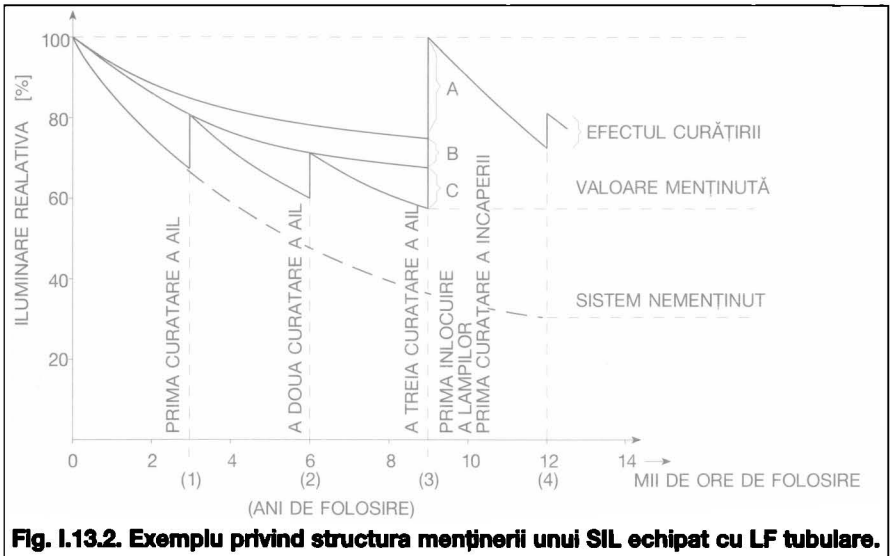


Fig. I.13.2. Exemplu privind structura menținerii unui SIL echipat cu LF tubulare.

13.2.1. Estimări ale pierderilor de lumină

• Analiza deprecierilor

Cele mai mari pierderi pot fi atribuite murdăriei care este colectată pe lămpi și suprafețele care controlează lumina prin reflexie, refracție și difuzie.

Rata deprecierii cauzată de depunerea murdăriei pe suprafețele AIL este afectată de:
- unghiul de înclinare a suprafeței față de orizontală;
- materialul din care este realizată suprafața;
- finisajul suprafeței;
- temperatura suprafeței;
- gradul de ventilare a încăperii;
- tipul aparatului de iluminat: deschis /închis; cu distribuție superioară de flux luminos/fără distribuție superioară de flux luminos;
- natura depunerilor (murdăriei);
- gradul de poluare a mediului înconjurător (concentrația depunerilor în mediu).

Deprecierea SIL poate fi redusă alegând tipuri de AIL adecvate destinației încăperii unde sunt amplasate. AIL cu partea inferioară deschisă și cea superioară închisă colectează mai multă murdărie deoarece nu sunt ventilate. La AIL care sunt deschise la partea superioară, curenții de convecție transportă praful și murdăria departe de suprafețele reflectante. În mediul poluat este de preferat utilizarea unor AIL cu grad ridicat de protecție (IP44 sau mai mare).

Influența tipului de mediu asupra suprafețelor încăperii

Acumularea de praf și alte impurități pe pereți și tavan conduce la reducerea valorii indicelui de reflexie, al suprafeței respective, scăzând valoarea iluminării reflectate. Valoarea deprecierii depinde de mărimea încăperii și de tipul de distribuție a fluxului AIL. Efectul este mai pronunțat în încăperi mici sau unde SIL are o componentă indirectă mai mare.

Deprecierea fluxului luminos al lămpii

Depinde de tipul lămpii, de producătorul acesteia, de acuratețea realizării instalației electrice, de frecvența co-

nectărilor/deconectărilor, tipul aparatului anex (unde este cazul) și gradul său de uzură, temperatura mediului ambiant, poziția de montare (la lămpile cu descărcare), reglarea fluxului luminos. Modificarea parametrilor nominali ai surselor conduce nu numai la o reducere a iluminării ci și la o uniformitate mai scăzută a acesteia. Calculele SIL trebuie să țină seama de deprecierea specifică fiecărui tip de lampă.

Optimizarea întreținerii

Intervalul optim de curățire a AIL pentru un SIL depinde de tipul aparatului, de materialul din care este realizat acesta, de gradul de poluare a zonei și a încăperii și de costurile operațiunii de curățire.

• ***Factorul de menținere***

La determinarea numărului de surse și AIL ale unui SIL, necesare pentru a crea un anumit nivel de iluminare, trebuie ales factorul de menținere al sistemului. Acest factor este raportul dintre iluminarea produsă de sistemul de iluminat după întreținere și iluminarea produsă de sistem la punerea în funcțiune. Factorul de menținere (M_f) ține seama de deprecierile cauzate de diverși factori. Este dat de relația:

- pentru iluminatul interior:

$M_f = M_{fL} \cdot M_{fAIL} \cdot M_{fSR}$ (13.2.1)

în care:

M_f - este factorul de menținere a lămpii,

M_{fAIL} - este factorul de menținere a AIL, iar

M_{fSR} - este factorul de menținere a suprafețelor reflectante ale încăperii.

M_{fL} are două componente: M_{fFL} și M_{fDL}, putând fi exprimat cu relația:

$M_{fL} = M_{fFL} \cdot M_{fDL}$ (13.2.2)

în care:

M_{fFL} - este factorul de menținere a fluxului lămpii, iar

M_{fDL} - este factorul de durată de funcționare a lămpii;

- pentru iluminatul exterior

$M_f = M_{fL} \cdot M_{fAIL}$ (13.2.3)

cu semnificațiile anterioare.

În tabelele I.13.1...I.13.3 sunt indicați factorii de menținere: M_{fFL}, M_{fDL}, M_{fAIL}, M_{fSRL}.

Tabelul I.13.1. Valori pentru factorii de menținere a lămpii (M_{fFL}, M_{fDL})

Ore de funcționare		100	1000	2000	4000	6000	12000	18000	24000
LIC	M_{fFL}	1,00	0,93	-	-	-	-	-	-
	M_{fDL}	1,00	0,50	-	-	-	-	-	-
Fluorescentă	M_{fFL}	1,00	0,96	0,94	0,91	0,87	0,84	-	-
trifosfor	M_{fDL}	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,75	-	-
Fluorescentă	M_{fFL}	1,00	0,94	0,89	0,83	0,80	0,74	-	-
halofosfat	M_{fDL}	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,75	-	-
Mercur înaltă	M_{fFL}	1,00	0,97	0,93	0,87	0,80	0,68	0,58	0,52
presiune	M_{fDL}	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,88	0,75	0,50
MH	M_{fFL}	1,00	0,93	0,87	0,78	0,72	0,63	0,52	
	M_{fDL}	1,00	0,97	0,95	0,93	0,91	0,77	0,50	
Sodiu înaltă	M_{fFL}	1,00	0,98	0,96	0,93	0,91	0,87	0,83	0,80
presiune	M_{fDL}	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,89	0,75	0,50

Tabelul I.13.2. Valori pentru factorii de menținere a AIL (M_{fAIL})

Timpul dintre două curățiri consecutive [ani]	0	0,5			1,0			2,0			3,0		
Mediul în care se află AIL	Oricare	C*	N*	M*	C	N	M	C	N	M	C	N	M
AIL cu lampă tubulară	1	0,92	0,92	0,88	0,93	0,89	0,83	0,89	0,84	0,78	0,85	0,79	0,73
AIL cu reflector deschis	1	0,95	0,91	0,88	0,90	0,86	0,83	0,84	0,80	0,75	0,79	0,74	0,68
AIL cu reflector închis	1	0,93	0,89	0,83	0,89	0,81	0,72	0,80	0,69	0,59	0,74	0,61	0,52
AIL înglobat	1	0,92	0,87	0,83	0,88	0,82	0,77	0,83	0,77	0,71	0,79	0,73	0,65
AIL etanș la praf	1	0,96	0,93	0,91	0,94	0,90	0,86	0,91	0,86	0,81	0,90	0,84	0,79
AIL indirect	1	0,92	0,89	0,85	0,86	0,81	0,74	0,77	0,66	0,57	0,70	0,55	0,45

*) C - curat; N - normal; M - murdar.

Tabelul I.13.3. Valori pentru factorii de menținere a suprafețelor reflectante (M_{fSR})

Timpul dintre două curățiri consecutive [ani]		0,5			1,0			2,0			3,0		
Dimensiunea încăperii (i)	Mediul / Distribuția fluxului luminos	C*	N*	M*	C	N	M	C	N	M	C	N	M
Mică - 0,7	Directă	0,97	0,96	0,95	0,97	0,94	0,93	0,95	0,93	0,90	0,94	0,92	0,88
	Directă-indirectă	0,94	0,88	0,84	0,90	0,86	0,82	0,87	0,82	0,78	0,84	0,79	0,74
	Indirectă	0,90	0,84	0,80	0,85	0,78	0,73	0,81	0,73	0,66	0,75	0,68	0,59
Medie - 2,5	Directă	0,98	0,97	0,96	0,98	0,96	0,95	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94
	Directă-indirectă	0,95	0,90	0,86	0,92	0,88	0,85	0,89	0,85	0,81	0,86	0,82	078
	Indirectă	0,92	0,87	0,83	0,88	0,82	0,77	0,84	0,77	0,70	0,78	0,72	0,64
Mare - 5,0	Directă	0,99	0,97	0,96	0,98	0,96	0,95	0,96	0,95	0,94	0,96	0,95	0,94
	Directă-indirectă	0,95	0,90	0,86	0,94	0,88	0,85	0,89	0,85	0,81	0,86	0,82	0,78
	Indirectă	0,92	0,87	0,83	0,88	0,82	0,77	0,84	0,77	0,70	0,78	0,72	0,65

*) C - curat; N - normal; M - murdar; (i) - indicele încăperii.

13.2.2.Menținerea sistemelor de iluminat interior

Necesită schimbarea surselor și curățarea suprafețelor difuzante și reflectante a AIL și întreținerea suprafețelor reflectante din încăpere. Schimbarea surselor (cu același tip de lampă) se poate face individual, în grup (prin schimbarea în același timp a tuturor surselor) sau combinat. Schimbarea individuală a surselor are următoarele dezavantaje: necesită urmărirea permanentă a funcționării surselor, intervenții frecvente, perturbarea frecventă a activității, provoacă diferențe mari între fluxul emis de sursele vechi și cele noi. Avantajul acestei metode constă în investiția redusă.

Ce de-a doua metodă înlătură dezavantajele primei metode, în plus oferă condiții pentru curățarea aparatelor de iluminat. Dezavantajul constă în investiția, relativ mare. Schimbarea surselor nu se poate realiza decât la ieșirea din funcțiune a unui număr mai mare de surse, ceea ce poate conduce atât la un aspect inestetic, cât și la diminuarea nivelului de iluminare și a uniformității.

Varianta combinată a celor două metode reprezintă un optim.

13.2.3. Menținerea SIL exterioare

Și în cazul menținerii SIL exterioare se impun, în principiu, aceleași metode cu câteva particularități. Astfel sunt sisteme, cum ar fi cel rutier sau pentru tuneluri, la care se va aplica doar metoda înlocuirii individuale a surselor, singura care nu produce diminuări ale factorilor luminotehnici cantitativi și calitativi. Cu toate că înlocuirea surselor din grup este o soluție economică, adoptarea acestei metode pentru celelalte tipuri de SIL exterior trebuie precedată de o analiză a consecințelor pe care le poate avea scăderea caracteristicilor luminotehnice asupra activităților ce se desfășoară în spațiul analizat (sistemele pentru traficul pietonal, pentru iluminarea parcurilor), respectiv asupra efectelor artistice sau securității persoanelor.

Ca și în cazul SIL interior, menținerea nu se referă doar la înlocuirea surselor de lumină, ci și la verificarea și înlocuirea elementelor din aparatajul anex deteriorate (mecanic sau electric) sau care lipsesc. Un element important al menținerii este înlocuirea cu același tip de lampă.

În anumite cazuri, pentru menținerea SIL exterioare, este necesară verificarea unghiurilor de orientare a AIL și (eventual) corectarea acestora.

Menținerea SIL reprezintă o componentă de bază a managementului iluminatului și, chiar dacă este considerată o componentă secundară a acestuia, poate conduce, în timp, la economii importante.

II. Instalații electrice

Capitolul 1
Receptoare și consumatori

1.1. Receptoare electrice

Receptoarele electrice sunt aparate care transformă energia electrică într-o altă formă de energie utilă omului. Exemple:
- lampa electrică (becul sau tubul luminos) transformă energia electrică în energie luminoasă;
- motorul electric transformă energia electrică în energie mecanică;
- cuptorul electric transformă energia electrică în energie termică;
- transformatorul electric: transformă energia electrică de anumiți parametri în energie electrică de alți parametri etc.

Clasificarea receptoarelor electrice:
- din punct de vedere al destinației, se clasifică în receptoare:
  - de lumină (corpuri de iluminat, prize);
  - de forță (motoare, cuptoare);
  - pentru transmiterea informațiilor (telefoane, ceasuri, difuzoare, prize pentru antene R-TV etc.)
- din punct de vedere al siguranței în funcționare se clasifică în receptoare:
  - **normale**, pentru care se asigură o singură sursă de alimentare, pe una sau mai multe căi.
  - **vitale**, pentru care se asigură două sau mai multe surse de alimentare.

Receptoarele vitale sunt acelea la care întreruperea alimentării cu energie electrică poate provoca pierderi de vieți omenești, pierderi materiale sau morale deosebite, nerecuperabile.

Exemple de receptoare electrice vitale:
- receptoarele ce asigură funcționarea unei săli de operație (iluminatul, bisturiul electric, receptoarele stației de climatizare etc.);
- corpurile de iluminat utilizate în iluminatul de siguranță;
- receptoarele ce asigură funcționarea lifturilor de persoane și de intervenție (destinate pompierilor);
- pompe destinate stingerii incendiului etc.

Receptoarele din iluminatul de siguranță, de exemplu, sunt alimentate din două surse:
- sistemul energetic;
- sursă proprie ce poate fi:
  * grup electrogen propriu al clădirii;
  * bateria de acumulatori locală sau baterie centrală a clădirii.

Alimentarea din sistemul energetic, indiferent pe câte căi se face, este considerată o singură sursă de alimentare.

Receptoarele vitale se pot clasifica la pândul lor în: preferențiale și critice.

În grupa receptoarelor critice intră și toate receptoarele destinate prevenirii și stingerii incendiului:
- pompele de incendiu (pentru hidranți, sprinklere, drencere),
- instalația de desfumare,
- instalațiile de semnalizare,
- iluminatul de siguranță,
- liftul de intervenție.

1.2. Consumatori electrici

Consumatorul electric este format dintr-un ansamblu de receptoare electrice ce pot funcționa într-o unitate funcțională sau nu. Consumatorul este persoana fizică sau juridică ale cărei instalații electrice de utilizare sunt conectate la rețeaua furnizorului prin unul sau mai multe puncte de alimentare prin care primește și livrează energie electrică, dacă are centrală proprie.

După natura consumului de energie electrică, consumatorii sunt:
- **industriali și similari** - dacă folosesc energia electrică, în principal, în domeniul extragerii de materii prime, fabricării unor materiale sau prelucrării materiilor prime, a materialelor sau a unor produse agricole în mijloace de producție sau bunuri de consum; prin asimilare, în aceeași categorie sunt incluse și șantierele de construcții, stațiile de pompare (inclusiv cele pentru irigații), unitățile de transporturi feroviare, rutiere, navale și aeriene și altele asemenea;
- **casnici** dacă folosesc energia electrică pentru iluminat și utilizarea receptoarelor electrocasnice în propria locuință;
- **terțiari** - sunt consumatorii care nu se regăsesc în primele două categorii (clădiri administrative, școli, spitale etc.)

După puterea contractată de consumatori, aceștia se clasifică în:
- mici consumatori, când puterea este sub 100 kW;
- mari consumatori, când puterea este sau depășește 100 kW.

Ținând seama și de prima clasificare vom regăsi:
- mici consumatori industriali sau mici consumatori terțiari;
- mari consumatori industriali și mari consumatori terțiari.

Relația dintre furnizorul de energie electrică și consumator se stabilește prin contractul de furnizare și utilizare a energiei electrice, încheiat între cele două părți.

Contractul reglementează atât condițiile de furnizare, facturare, plată cât și cele de utilizare a energiei electrice. Prevederile cele mai importante din contract sunt:
- locul de consum, ce indică amplasamentul instalațiilor de utilizare ale unui consumator (inclusiv, ale subconsumatorilor săi atunci când este cazul) prin care se consumă energia electrică furnizată prin una sau mai multe instalații de alimentare;
- punctul de delimitare dintre cele două proprietăți, a furnizorului și consumatorului (de cele mai multe ori acesta este contorul electric);
- puterea contractată ce reprezintă cea mai mare putere medie cu înregistrare orară sau pe 15 minute consecutiv, convenită prin contract, pe care consumatorul are dreptul să o absoarbă în perioada de consum;
- puterea la orele de vârf ale Sistemului Energetic Național (SEN) care reprezintă cea mai mare putere medie cu durată de înregistrare orară sau pe 15 minute consecutiv, convenită prin contract, pentru a fi absorbită de consumator la orele de vârf ale SEN;
- puterea minimă de avarie, aceasta fiind puterea strict necesară consumatorului pentru menținerea în funcțiune a agregatelor care condiționează securitatea instalațiilor și a personalului; aceasta este, de regulă, puterea receptoarelor vitale;
- puterea minimă tehnologică care este cea mai mică putere - în regim de limitare - necesară unui consumator pentru menținerea în funcțiune, în condiții de siguranță, numai a acelor echipamente și instalații impuse de procesul tehnologic, pentru a evita pierderi de producție nerecuperabile. Regimul de limitare corespunde situației în care, pentru menținerea în limite normale a parametrilor de funcționare a SEN, este necesară reducerea la anumite limite a puterii electrice absorbite de consumatori cu asigurarea puterii minime tehnologice.

II. Instalații electrice

Capitolul 2

Fenomene fizice proprii instalațiilor electrice

2.1. Încălzirea conductelor în regim de lungă durată

Regimul este caracterizat de faptul că pierderea de putere este constantă în timp (fig. II 2.1).

Calculul încălzirii se face în următoarele ipoteze:

- conducta este omogenă și izotropă, astfel că temperatura θ a conductei este aceeași pe toată lungimea;
- temperatura θ are valori reduse (60...100°C), încât constantele de material nu variază.

Se fac următoarele notații:

m - masa conductei;
c - căldura specifică;
τ_{ma} - temperatura mediului ambiant;
U - coeficientul global de schimb de căldură (prin conducție și convecție);
A - suprafața laterală de schimb de căldură cu mediul exterior;
p_d - puterea dezvoltată în conductă.

Aplicând legea conservării energiei într-un interval de timp dt rezultă:

$$p_d\,dt = m{\cdot}c\,d\theta + U{\cdot}A\,\Delta\theta\,dt \qquad (2.1.1)$$

unde:

$\Delta\tau = \tau - \tau_{ma} = \theta$ - este supratemperatura conductei.

Ecuația 2.1.1 devine:

$$p_d\,dt = mc\,d\theta + UA\theta\,dt \qquad (2.1.2)$$

Făcând notațiile:

$$\theta_f = \frac{p_d}{U\cdot A} \text{ și } T = \frac{mc}{U\cdot A} \qquad (2.1.3)$$

unde θ_f și T fiind constante pentru o conductă dată, rezultă soluția ecuației (2.1.2):

$$ln(\theta_f - \theta) = -\frac{t}{T} + C_i \qquad (2.1.4)$$

unde:

C_i - este o constantă de integrare.

Admițând că la momentul $t = 0$:

$\theta = \theta_i$, unde θ_i este supratemperatura inițială, rezultă:

$$\theta = \theta_f\left(1 - e^{-t/T}\right) + \theta_i e^{-t/T} \qquad (2.1.5)$$

Variabila $\theta = f(t)$ este reprezentată în fig. II.2.2.

Semnificațiile fizice ale constantelor θ_f și T sunt:

θ_f - supratemperatura finală la care ajunge conducta la $t = \infty$.

T - constanta de timp a conductei, reprezintă timpul în care conducta ajunge la supratemperatura θ_f dacă nu are loc schimb de căldură cu mediul (toată căldura este acumulată în conductă).

Din punct de vedere geometric T reprezintă subtangenta la graficul $\theta = f(t)$. În general, conductele electrice ajung la supratemperatura finală θ_f după un timp de aproximativ (3 ... 5)T. Aceasta rezultă din relația (2.1.2) în care s-au făcut substituțiile (2.1.3):

$$tg\alpha = \frac{\theta_f - \theta}{T} = \frac{d\theta}{dt} \qquad (2.1.6)$$

Dacă pierderile se produc prin efect Joule, se poate scrie:

$$\theta_f = \frac{p_d}{U\cdot A} = \frac{RI^2}{U\cdot A} = \rho\frac{I^2}{s\cdot U\cdot 2\sqrt{\pi s}} =$$

$$= \frac{\rho\cdot I^2}{2\sqrt{\pi}\cdot U\cdot s^{3/2}} = \theta_f - \theta_{ma} \qquad (2.1.7)$$

unde:

τ_f - este temperatura finală din conductă la trecerea curentului I;

s - secțiunea conductei;

dacă $\tau_f = \tau_{ad}$; τ_{ad} fiind temperatura admisibilă a conductei, atunci curentul I are caracter de curent maxim admisibil (I_{ma}) transportat de conductă.

Deci:

$$I_{ma} = \sqrt{\frac{1}{\rho}\cdot 2\sqrt{\pi}\cdot U\cdot s^{3/2}\left(\theta_{ad} - \theta_{ma}\right)} \qquad (2.1.8)$$

Relația 2.1.8 stabilește legătura dintre I_{ma} și s în funcție de:

ρ - rezistivitatea materialului conductor (Cu, Al, Ol - Al etc.);

U - coeficientul global de schimb de căldură - diferit în funcție de condițiile de montare a conductelor (în tub de protecție, în pământ, în aer etc.);

τ_{ad} - temperatura admisibilă a conductei, ce depinde de natura izolației (cauciuc, PVC etc.);

τ_{ma} - temperatura mediului ambiant, ales ca mediu de referință.

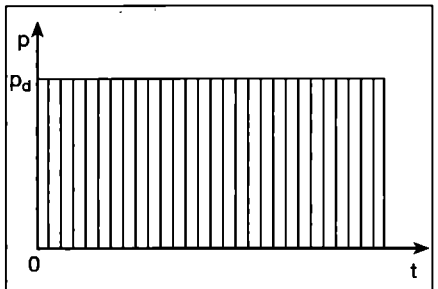


Fig. II.2.1. Variația pierderii de putere în încălzirea de lungă durată.

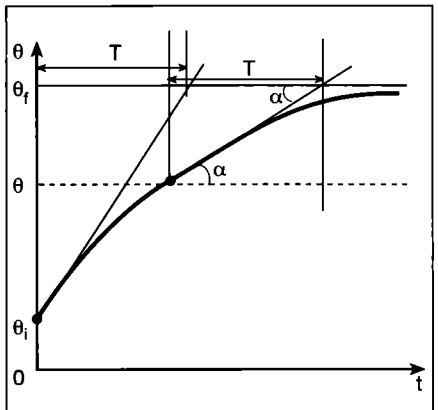


Fig. II.2.2. Variația supratemperaturii în încălzirea de lungă durată.

Normativul I - 7 redă legătura I_{ma} - s sub formă tabelară în condiții de referință pentru conducte și cabluri. În cazul în care condițiile reale diferă de cele de referință, I_{ma} se poate corecta.

Pentru conductele electrice (FY, AFY, F, AF) corecția se face pentru cazul în care acestea se montează într-un mediu cu temperatura diferită de a celui de referință (τ'_{ma}). În acest caz curentul maxim admisibil rezultă:

$$I'_{ma} = I_{ma}\sqrt{\frac{\tau_{ad} - \tau'_{ma}}{\tau_{ad} - \tau_{ma}}} \qquad (2.1.9)$$

Exemplul de calcul 1

Conductele FY cu secțiunea de 25 mm² montate câte 4 în tubul de protecție au curentul $I_{ma} = 76$ A și temperatura admisibilă a izolației $\tau_{ad} = 70$ °C, dacă temperatura mediului ambiant este $\tau_{ma} = +25$ °C.

Dacă aceleași conducte se montează într-un mediu ambiant cu temperatura $\tau'_{ma} = +40$ °C, încărcarea maximă admisibilă devine:

$$I'_{ma} = 76\sqrt{\frac{70-40}{70-25}} = 76\cdot 0{,}816 = 62 \text{ A}$$

Deci capacitatea de încărcare la + 40 °C a devenit 81,6 % din cea de referință, la +25 °C.

Dacă temperatura mediului ambiant este $\tau'_{ma} = -10$ °C, încărcarea maximă admisibilă a conductelor crește la valoarea:

$$I'_{ma} = 76\sqrt{\frac{70-(-10)}{70-25}} =$$

$$= 76\cdot 1{,}333 = 101 \text{ A}$$

deci un spor de 33,3 %.

Pentru cablurile electrice încărcarea maximă admisibilă se stabilește cu relația:

$$I'_{ma} = k_1\cdot k_2\cdot k_3\cdot I_{ma} \qquad (2.1.10)$$

unde:

I_{ma} - este încărcarea maximă admisibilă de referință, pentru condiții date;

k_1 - coeficientul de corecție pentru pozarea în grup (mai multe cabluri paralele);

k_2 - coeficientul de corecție pentru montarea într-un mediu ambiant cu altă temperatură decât cea de referință;

k_3 - coeficientul de corecție pentru montarea în aer, atunci când I_{ma} este corespunzător unui cablu montat în pământ.

Exemplul de calcul 2

Cablul cu izolația din PVC cu 4 conductoare din cupru de 25 mm² este montat în pământ cu $\tau_{ma} = +15$ °C are $I_{ma} = 115$ A (pentru tensiuni sub 1 kV).

Dacă se montează 4 cabluri la distanța de 100 mm unul de altul în pă-

mânt cu aceeași temperatură τ_{ma}, încărcarea maximă admisibilă a fiecărui cablu este:

$I'_{ma} = k_1 \cdot I_{ma} = 0,75 \cdot 115 = 86,25$ A

Dacă aceleași patru cabluri sunt montate într-un sol cu $\tau'_{ma} = +30$ °C, fiecare cablu va fi încărcat cu maximum:

$I'_{ma} = k_1 \cdot k_2 \cdot I_{ma} = 0,75 \cdot 0,85 \cdot 115 = 73,3$ A

Dacă aceleași patru cabluri ar fi montate în aer liber la $\tau'_{ma} = +35$ °C:

$I'_{ma} = k_1 \cdot k_3 \cdot I_{ma} = 0,75 \cdot 0,57 \cdot 115 = 49,2$ A

Exemplul de calcul 3

Un cablu cu izolația din PVC cu 4 conductoare din cupru de 25 mm² montat în aer la $\tau_{ma} = +20$ °C are $I_{ma} = 110$ A (pentru tensiuni sub 1kV).

Dacă se montează trei astfel de cabluri la o distanță egală cu diametrul lor, încărcarea maximă este:

$I'_{ma} = k_1 \cdot I_{ma} = 0,95 \cdot 110 = 104,5$ A

Dacă cele trei cabluri sunt pozate astfel încât se ating, încărcarea fiecărui cablu va fi:

$I'_{ma} = k_1 \cdot I_{ma} = 0,80 \cdot 110 = 88$ A.

Dacă cele trei cabluri sunt pozate în aer la $\tau'_{ma} = +30$°C și se ating, încărcarea fiecărui cablu trebuie să fie de maximum:

$I'_{ma} = k_1 \cdot k_2 \cdot I_{ma} = 0,80 \cdot 0,88 \cdot 110 = 77,4$ A

Observație:

Corecția încărcării cablurilor trebuie să se facă cu mare atenție pentru a evita atât supradimensionarea cât, mai ales, subdimensionarea cablurilor.

Stabilitatea termică a conductelor în regimul de lungă durată

Aceasta se realizează dacă este îndeplinită condiția:

$$I_c \le I_{ma} \qquad (2.1.11)$$

unde:

I_c - este curentul de calcul sau curentul transportat de conductă.

Relația 2.1.11 se poate folosi atât la dimensionare, când se stabilește secțiunea conductei cât și la verificare, atunci când secțiunea conductei se cunoaște.

2.2. Încălzirea conductelor în regim intermitent

Regimurile intermitente presupun o funcționare ciclică a receptoarelor electrice. Un astfel de ciclu poate fi compus dintr-un timp de funcționare t_i și un timp de pauză t_r (fig.II.2.3).

În timpul de funcționare t_i, pierderea de putere este constantă p și conductele electrice se încălzesc, iar în timpul de pauză t_r, pierderea de putere este zero și conductele se răcesc.

Un asemenea regim de funcționare are frigiderul cu compresie, cei trei timpi t_c, t_i și t_r depinzând de anotimp și de condițiile de încărcare și amplasare a agregatului.

Într-un asemenea regim, supratemperatura conductelor variază ca în fig. II.2.3, astfel că după un anumit număr de cicluri aceasta se stabilește la valoarea θ_{fi}:

$$\theta_1 = \theta_3 = \theta_{fi} \qquad (2.2.1)$$

unde:

θ_{fi} - este supratemperatura finală în regimul intermitent. Cu θ_f s-a notat supratemperatura aceloraşi conducte dacă regimul ar fi fost de lungă durată și la aceeași putere p;

θ_1 - supratemperatura la sfârșitul unui timp de încălzire t_i;

θ_2 - supratemperatura la sfârșitul timpului de răcire t_r imediat următor;

θ_3 - supratemperatura la sfârșitul următorului timp de funcționare t_i.

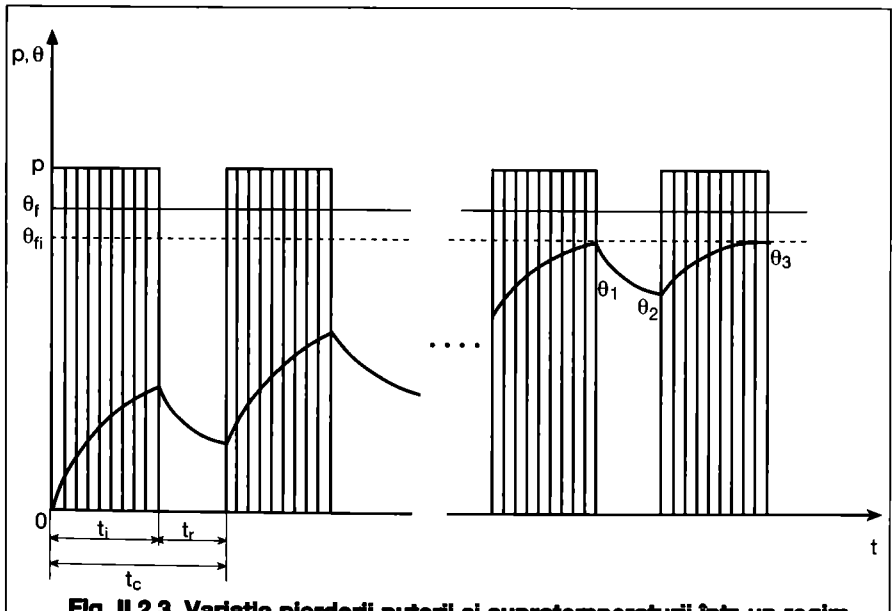


Fig. II.2.3. Variația pierderii puterii și supratemperaturii într-un regim intermitent:

t_c - timpul ciclului; t_i - timpul de încălzire; t_r - timpul de răcire.

Atunci:

$$\theta_2 = \theta_1 \cdot e^{-\frac{t_r}{T}} \qquad (2.2.2)$$

$$\theta_3 = \theta_f \left(1 - e^{-\frac{t_i}{T}}\right) + \theta_2 \cdot e^{-\frac{t_i}{T}} \qquad (2.2.3)$$

Punând condiția 2.2.1. rezultă:

$$\theta_{fi} = \theta_f \frac{1 - e^{-\frac{t_i}{T}}}{1 - e^{-\frac{t_c}{T}}} \qquad (2.2.4)$$

Cum $t_c > t_i$ este evident că și $\theta_{fi} < \theta_f$ la aceeași pierdere de putere. Dezvoltând în serie Taylor și alegând numai primii doi termeni ai dezvoltării, 2.2.4 devine:

$$\theta_{fi} \approx \theta_f \, t_i / t_c \qquad (2.2.5)$$

Raportul t_i/t_c este cunoscut sub denumirea de durată de conectare *DC*. Astfel:

$$\theta_{fi} \approx \theta_f \cdot DC \qquad (2.2.6)$$

Cum $DC < 1$, atunci și temperatura finală în regimul intermitent de funcționare (τ_{fi}) va fi mai mică decât temperatura finală (τ_f) atinsă în regimul de lungă durată, dacă pierderile de putere sunt aceleași. Cum τ_f este temperatura admisibilă (τ_{ad}), în regimul intermitent putem mări puterea (p_i) față de regimul de lungă durată (p_d) astfel încât conductele să atingă aceeași temperatură finală (τ_{ad}):

$$p_i = a \, p_d \qquad (2.2.7)$$

unde:

a - se numește coeficient de supraîncărcare.

Relația 2.2.7 se mai poate scrie:

$$\theta_{fi} = \frac{1}{a}\theta_f = \theta_{ad} = \tau_{ad} - \tau_{ma} \qquad (2.2.8)$$

Din 2.2.8 și 2.2.6 coeficientul de supraîncărcare rezultă ca fiind inversul duratei de conectare:

$$a \cong \frac{1}{DC} \qquad (2.2.9)$$

Din 2.2.7 rezultă curentul maxim admisibil în regimul intermitent de funcționare:

$$I_{mai} = \sqrt{a} \, I_{ma} \qquad (2.2.10)$$

unde:

I_{ma} - este curentul maxim admisibil în regimul de lungă durată pentru conductă.

Stabilitatea termică a conductelor în regimul intermitent. Acesta se realizează dacă este îndeplinită condiția:

$$I_c \le \sqrt{a} \cdot I_{ma} \qquad (2.2.11)$$

unde:

I_c - este curentul de calcul sau curentul transportat de conductă.

Observație: Normativul I-7 face recomandarea ca în cazul regimurilor intermitente cu durata $t_c \geq 10$ min și $t_i \leq 4$ min și pentru secțiuni ale conductoarelor $s > 10$ mm² din *Al* și $s > 6$ mm² din Cupru, coeficientul de corecție al curentului maxim admisibil se ia:

$$\sqrt{a} = \frac{0,875}{\sqrt{DC}} \qquad (2.2.12)$$

Exemplu de calcul

Conductele AFY 16 mm² montate câte 4 într-un tub de protecție la $\tau_{ma} = +25$ °C au curentul maxim admisibil în regim permanent $I_{ma} = 43$ A.

Aceleași conducte utilizate în alimentarea unui receptor cu o funcționare intermitentă cu $t_c = 12$ min și $t_i = 4$ min vor putea fi încălzite până la valoarea:

$$I_{mai} = \frac{0,875}{\sqrt{\frac{4}{12}}} \cdot 43 = 65,1 \text{ A}$$

2.3. Încălzirea conductelor în regim de scurtă durată

Regimul de scurtă durată (de exemplu scurtcircuitul) este caracterizat prin aceea că, într-un interval scurt de timp, pierderea de putere în conductă este mai mare, după care urmează un timp suficient de lung în care conducta se răcește până la temperatura mediului ambiant (fig. II.2.4).

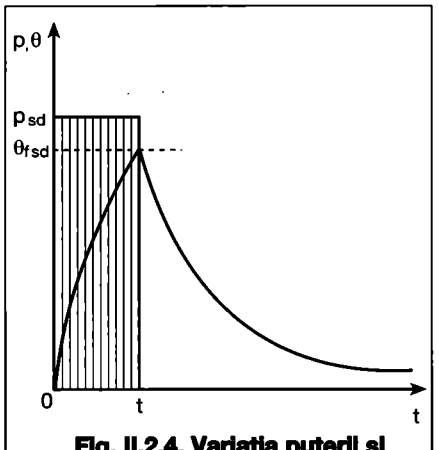


Fig. II.2.4. Variația puterii și supratemperaturii în regimul de scurtă durată.

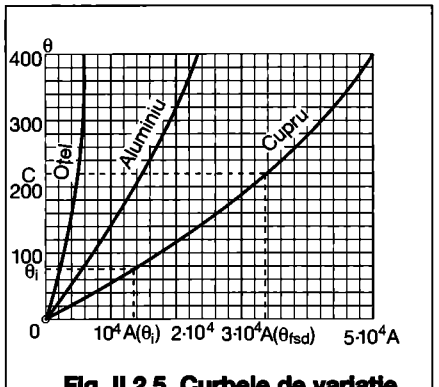


Fig. II.2.5. Curbele de variație A = f(θ), pentru Cu, Al și Ol.

Regimul, având o durată de încălzire mică (timpul t putând fi comparat cu timpul de acționare a echipamentelor de protecție la scurtcircuit) se poate neglija componenta corespunzătoare schimbului de căldură cu mediul ambiant din ecuația de bilanț 2.1.2. astfel, aceasta devine:

$$p_{sd}\, dt = mc\, d\theta \qquad (2.3.1)$$

Totodată temperatura admisibilă în regimul de scurtă durată este cu mult mai mare decât cea corespunzătoare regimului de lungă durată. Din acest motiv căldura specifică (c) și rezistivitatea conductorului (ρ) sunt variabile cu temperatura:

$$c = c_0 (1 + \alpha_c \theta)$$
$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha_\rho \theta) \qquad (2.3.2)$$

unde:

c_0 și ρ_0 - sunt valorile corespunzătoare la temperatura mediului ambiant ($\theta = 0$) și α_c și α_ρ sunt coeficienții de variație cu temperatura pentru c și ρ.

Notând cu γ densitatea conductoarelor și considerând γ = constant, relația (2.3.1) se mai poate scrie:

$$\rho_0 \left(1 + \alpha_\rho \theta\right) \cdot \frac{l}{s} \cdot i_{sd}^2 \cdot dt =$$
$$= \gamma \cdot s \cdot l \cdot c_0 \left(1 + \alpha_c \theta\right) \cdot d\theta \qquad (2.3.3)$$

unde:

l - este lungimea conductei;

s - secțiunea;

i_{sd} - curentul de scurtă durată prin conductă.

Relația 2.3.3 se poate scrie sub forma:

$$j_{sd}^2 \cdot dt = \frac{\gamma c_0}{\rho_0} \cdot \frac{1 + \alpha_c \theta}{1 + \alpha_\rho \theta} d\theta \qquad (2.3.4)$$

unde:

$j_{sd} = i_{sd}/s$ - densitatea de curent în regimul de scurtă durată.

Integrând în limitele 0 - t și θ_i - θ rezultă:

$$\int_0^t j_{sd}^2 \cdot dt = A - A_i \qquad (2.3.5)$$

unde:

$$A = A(\theta) =$$
$$= \frac{\gamma c_0}{\rho_0} \left[\frac{\alpha_c}{\alpha_\rho} \theta + \frac{\alpha_\rho - \alpha_c}{\alpha_\rho^2} \cdot \ln\left(1 + \alpha_\rho \theta\right) \right]$$

și $A_i = A(\theta_i)$ (2.3.6)

În fig. II.2.5 se arată modul de variație a lui A în funcție de θ.

Integrala din 2.3.5 se poate calcula dacă se cunoaște forma de variație a curentului de scurtă durată în timp.

În cazurile în care nu se cunoaște forma de variație a curentului, integrala se determină cu relația:

$$\int_0^t j_{sd}^2 \cdot dt = \frac{I_\infty^2}{s^2} \cdot t_f \qquad (2.3.7)$$

unde:

t_f - este timpul fictiv în care curentul de valoare constantă I_∞, transportat de conductă, determină degajarea aceleaiași cantități de căldură. Mărimile t_f și I_∞ sunt furnizate de fabricantul de echipamente electrice.

θ_{fsd} - supratemperatura finală, se află din curba de variație a lui $A(\theta)$ din fig. II.2.5 astfel:

- cunoscând θ_i se determină $A(\theta_i)$;
- la valoarea $A(\theta_i)$ se adaugă valoarea integralei:

$\int_0^t j_{sd}^2 \cdot dt$ determinată prin calcul

sau prin metoda timpului fictiv; se determină în acest fel $A(\theta_{fsd})$;

- se află θ_{fsd} din aceeași nomogramă, corespunzător valorii $A(\theta_{fsd})$.

Stabilitatea termică a conductelor în regimul de scurtă durată

Pentru regimul de scurtă durată (scurtcircuit) dat, se compară supratemperatura finală a acestuia cu valoarea admisibilă. Dacă:

$$\theta_{fsd} < \theta_{fad} \qquad (2.3.8)$$

atunci se asigură stabilitatea termică.

De cele mai multe ori determinarea lui θ_{fsd} este dificil de stabilit. În cazul scurtcircuitului, stabilitatea termică se realizează dacă:

$$I_{sc} \leq I_t \sqrt{\frac{t}{t_{sc}}} \qquad (2.3.9)$$

unde:

I_{sc} - este curentul de scurtcircuit stabilizat;

t_{sc} - timpul de acționare a echipamentului de protecție la scurtcircuit (siguranța fuzibilă sau releul electromagnetic);

I_t - curentul de stabilitate termică pentru t_{sc}, furnizat de producător (de regulă $t = 10$ s, 5 s sau 1 s).

Un caz particular al regimului de scurtă durată îl reprezintă pornirea motoarelor. În acest caz constantele de material nu au variații semnificative, încât pot fi considerate constante.

Totodată densitatea de curent a regimului poate fi considerată constantă:

$$J_p = \frac{I_p}{s} = \frac{k\, I_n}{s} \qquad (2.3.10)$$

unde:

I_p - este curentul de pornire al motorului;

I_n - curentul nominal al motorului,

$k = I_p/I_n$ - coeficient ce depinde de tipul de pornire: directă, stea - triunghi (Y/Δ) sau cu reostat.

Valoarea lui k este indicată de producător pentru pornirea directă (k_Δ). Acesta are valori de la 4 la 7. Pentru pornirea Y/Δ: $k_Y = 1/3\ k_\Delta$ iar pentru pornirea cu reostat $k = 1{,}6$.

În aceste ipoteze stabilitatea termică a conductoarelor electrice, ce alimentează un motor la pornirea acestuia, se realizează dacă:

$$J_p \le \sqrt{\frac{c_0 \cdot \gamma \cdot \theta_p}{\rho_0 \cdot t_p}} \qquad (2.3.11)$$

unde:

θ_p - este supratemperatura admisibilă la pornirea motorului;

t_p - timpul de pornire.

Pentru valori medii ale mărimilor din relația 2.3.11, radicalul are următoarele valori admisibile:

$J_{ad\ Cu} = 35$ A/mm² și $J_{ad\ Al} = 20$ A/mm² (2.3.12)

Exemplul de calcul 1

Un motor asincron trifazat cu putere nominală $P = 4$ kW cu turația $n = 1500$ rot/min are $\eta = 0{,}84$, $\cos\varphi = 0{,}84$; $k_\Delta = I_p/I_n = 6$ și curentul nominal $I_n = 8{,}6$ A.

Rezultă că alimentarea cu energie electrică se poate face cu conducte *FY* 1,5 mm² (3 conducte în tub; $\tau_{ma} = +25$°C și $\tau_{ad} = 70$ °C), deoarece $I_{ma} = 14$ A > 8,6 A.

La pornire motorul absoarbe un curent $I_p = 6{\cdot}8{,}6 = 51{,}6$ A. În acest regim de scurtă durată, densitatea de curent este $J_p = 51{,}6/1{,}5 = 34{,}4$ A/mm² < 35 A/mm².

Rezultă că secțiunea aleasă prezintă stabilitate termică la pornirea motorului.

Exemplul de calcul 2

Un aparat electric are stabilitate termică la regimul de scurtă durată de referință: $I_t = 100$ A pentru un timp $t = 1$ s. Este montat într-un circuit electric în care $I_{sc} = 300$ A și $t_{sc} = 80$ ms (t_{sc} este dat de timpul de acționare a siguranței fuzibile). Conform relației 2.3.9, curentul de scurtă durată admisibil pentru aparat este:

$$(I_{sc})_{ad} = I_t\sqrt{\frac{t}{t_{sc}}} = 100\sqrt{\frac{1}{0{,}080}} = 353{,}5\ A$$

Cum $I_{sc} = 300$ A < 353,5 A, aparatul are stabilitate termică la scurtcircuit.

2.4. Solicitări electrodinamice. Calculul forțelor electrodinamice

Curenții electrici produc solicitări mecanice *statice* și/sau *dinamice* ce pot duce la pierderea stabilității mecanice a unor părți din echipamentele sau construcțiile electrotehnice. De exemplu, izolatoarele ce susțin barele sau firele electrice se pot fisura sau chiar distruge la pierderea stabilității mecanice datorată forțelor electrodinamice. Din punct de vedere al solicitărilor mecanice, barele electrice sunt elemente din instalațiile electrice cele mai solicitate datorită curenților mari la care pot fi supuse.

a. Bare paralele străbătute de curent continuu (fig. II.2.6)

Fie două bare paralele străbătute de curenții I_1, I_2. Barele sunt circulare, cu diametrul d. Distanța dintre bare $a >> d$, astfel încât inducția B_1 produsă de curentul I_1, la distanța a este dată de relația:

$$B_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi a} \qquad (2.4.1)$$

unde:

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m - permeabilitatea magnetică acceptată pentru aer;

B_1 acționează asupra curentului I_2 și produce forța cu care curentul I_1 acționează asupra I_2:

$$F_{12} = \mu_0 \frac{I_1 \cdot I_2}{2\pi a} l \qquad (2.4.2)$$

unde:

l - este lungimea pe care cele două bare sunt paralele ($l >> a$ pentru a neglija efectele de la capetele barelor).

În mod asemănător și curentul I_2 acționează asupra curentului I_1 cu forța $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$, astfel încât forțele electrodinamice tind să apropie cele două bare. Dacă sensurile curenților sunt contrare, forțele tind să îndepărteze barele.

Din relația 2.4.2 rezultă că pe unitatea de lungime a fiecărei bare acționează o forță uniform distribuită (N/m) de valoare:

$$f = \mu_0 \frac{I_2 \cdot I_1}{2\pi a} \qquad (2.4.3)$$

b. Barele paralele străbătute de curent alternativ monofazat

Curenții din fig. II.2.6 sunt:

$i_1 = I_{m1}\ sin(\omega t - \varphi_1)$ și

$i_2 = I_{m2}\ sin(\omega t - \varphi_2)$

Expresia forței unitare de-a lungul barelor va fi:

$$f = \mu_0 \frac{i_1 \cdot i_2}{2\pi a} =$$

$$= \mu_0 \frac{I_{m1} \cdot I_{m2}}{2\pi a} sin(\omega t - \varphi_1) \cdot sin(\omega t - \varphi_2)$$

sau

$$f = \mu_0 \frac{I_{m1} \cdot I_{m2}}{2\pi a} \cdot$$

$$\cdot \frac{1}{2}\left[cos(\varphi_2 - \varphi_1) - cos(2\omega t - \varphi_1 - \varphi_2)\right] \qquad (2.4.4)$$

Relația 2.4.4. evidențiază în expresia forței două componente:

- una constantă și
- una variabilă cu frecvența dublă față de cea a rețelei.

Forța maximă are expresia:

$$f_m = \mu_0 \frac{I_{m1} \cdot I_{m2}}{4\pi a}\left[cos(\varphi_2 - \varphi_1) + 1\right] \qquad (2.4.5)$$

Valoarea cea mai mare a forței maxime se obține pentru condițiile:

- $\varphi_2 = \varphi_1$ - curenții sunt în fază și între bare se exercită forțe de atracție;
- $\varphi_2 = \varphi_1 - \pi$ - curenții sunt în opoziție de fază și între bare se exercită forțe de respingere cu:

$$f_m = \mu_0 \frac{I_{m1} \cdot I_{m2}}{4\pi a}\left[cos(\varphi_2 - \varphi_1) + 1\right] \qquad (2.4.6)$$

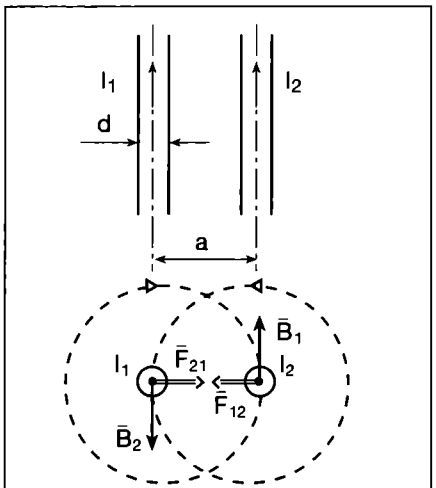


Fig. II.2.6. Bare paralele străbătute de curent continuu.

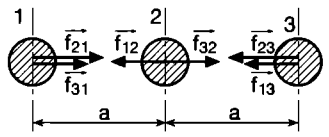


Fig. II.2.7. Forțele (pe metru liniar) ce se exercită pe bare paralele în același plan, străbătute de curent alternativ trifazat.

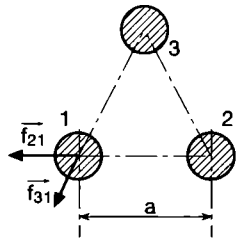


Fig. II.2.8. Forțele ce se exercită pe metru liniar în barele paralele amplasate în vârfurile unui triunghi echilateral.

c. Bare paralele în același plan străbătute de curent alternativ trifazat (fig. II.2.7)

Curenții prin bare sunt:

$$i_1 = I_m \sin \omega t,$$
$$i_2 = I_m \sin (\omega t - 2\pi/3), \quad (2.4.7)$$
$$i_3 = I_m \sin (\omega t + 2\pi/3),$$

corespunzători curenților de alimentare ai unui consumator (receptor) cu sarcini simetrice pe faze.

Forțele pe unitatea de lungime ce acționează asupra celor trei bare sunt:

$$f_1 = f_{21} + f_{31},$$
$$f_2 = f_{32} - f_{12}, \quad (2.4.8)$$
$$f_3 = -(f_{23} + f_{13}),$$

unde $f_{12} = -f_{21}$; $f_{13} = -f_{31}$ și $f_{23} = -f_{32}$

$$f_{12} = \mu_0 \frac{i_1 \cdot i_2}{2\pi a} =$$

$$= \mu_0 \frac{I_m^2}{8\pi a}\left(-1 + \cos 2\omega t - \sqrt{3} \sin 2\omega t\right)$$

$$f_{13} = \mu_0 \frac{i_1 \cdot i_3}{2\pi \cdot 2a} =$$

$$= \mu_0 \frac{I_m^2}{16\pi a}\left(-1 + \cos 2\omega t + \sqrt{3} \sin 2\omega t\right)$$

$$f_{32} = \mu_0 \frac{i_2 \cdot i_3}{2\pi a} =$$

$$= \mu_0 \frac{I_m^2}{8\pi a}\left(-1 - 2\cos 2\omega t\right) \quad (2.4.9)$$

astfel că:

$$f_1 =$$

$$= \mu_0 \frac{I_m^2}{8\pi a}\left(-3 + 3\cos 2\omega t - \sqrt{3} \sin 2\omega t\right)$$

$$f_2 = \mu_0 \frac{I_m^2}{8\pi a}\left(-3\cos 2\omega t + \sqrt{3} \sin 2\omega t\right) =$$

$$= \mu_0 \frac{I_m^2}{4\pi a} \cdot \sqrt{3} \sin\left(2\omega t - \frac{\pi}{3}\right)$$

$$f_3 = \mu_0 \frac{I_m^2}{16\pi a} =$$

$$= \left(-3 - 3\cos 2\omega t + \sqrt{3} \sin 2\omega t\right)$$

(2.4.10)

Forța f_2 are valoarea maximă:

$$f_{2m} = \mu_0 \frac{I_m^2}{2\pi a} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0,866 \mu_0 \frac{I_m^2}{2\pi a}$$

(2.4.11)

Pentru f_1 și f_3, valorile extreme vor rezulta pentru valorile $(2\omega t)$, pentru care derivata de ordinul întâi în raport cu timpul se anulează:

$$2\omega t = \frac{5\pi}{6} \text{ și } 2\omega t = \frac{11\pi}{6}.$$

Rezultă, în valoare absolută:

$$f_{1m} = f_{3m} = 0,808 \mu_0 \frac{I_m^2}{2\pi a} \quad (2.4.12)$$

Deci bara din mijloc este cea mai solicitată. De aceea toate calculele de rezistență statică și dinamică se fac pentru aceasta, soluția rezultată aplicându-se în mod identic pentru toate.

d. Bare paralele amplasate în vârfurile unui triunghi echilateral și străbătute de curent alternativ trifazat (fig. II.2.8)

Din motive de simetrie, toate cele trei bare vor fi la fel solicitate.

Asupra conductei 1 acționează forța unitară f_1:

$$f_1 = \sqrt{f_{1x}^2 + f_{1y}^2} \quad (2.4.13)$$

unde:

f_{1x} și f_{1y} - sunt componentele forței în sistemul de axe xOy:

$$f_{1x} = f_{21} + f_{31} \cos \frac{\pi}{3}$$

$$f_{1y} = -f_{31} \sin \frac{\pi}{3} \quad (2.4.14)$$

unde:

f_{21} și f_{31} - sunt date de relațiile 2.4.9 cu observația că între barele 3 și 1 distanța este „a" în loc de „$2a$".

Rezultă:

$$f_{1x} = \mu_0 \frac{I_m^2}{8\pi a} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}\left(-\sqrt{3} + \sqrt{3}\cos\alpha - \sin\alpha\right) \quad (2.4.15)$$

$$f_{1y} = -\mu_0 \frac{I_m^2}{8\pi a} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}\left(-1 + \cos\alpha + \sqrt{3}\sin\alpha\right)$$

$$f_1 = -\mu_0 \frac{I_m^2}{\pi a} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}\left(\sin\omega t\right) \quad (2.4.16)$$

Valoarea maximă a forței va fi:

$$f_{1m} = 0,866 \mu_0 \frac{I_m^2}{2\pi a} \quad (2.4.17)$$

aceeași cu a forței ce acționează asupra barei din mijloc atunci când acestea sunt amplasate în același plan (relația 2.4.11).

2.5. Arcul electric în instalațiile electrice

Arcul electric este un fenomen frecvent în instalațiile electrice. În unele situații el este dorit, cum ar fi la sudarea electrică, la instalațiile de topire cu arc, la funcționarea lămpilor cu descărcare etc. În multe alte situații el este un fenomen nedorit: la deschiderea contactelor electrice, la contacte imperfecte etc.

În primele situații arcul trebuie să funcționeze cât mai bine - staționar și stabil. În celelalte situații arcul trebuie să se stingă într-un timp cât mai scurt, pentru a nu provoca distrugerea unor părți din echipamentul sau instalațiile electrice.

a. Arcul electric în curent continuu

Caracteristica arcului electric ne arată legătura dintre tensiunea arcului (U_a) și curentul acestuia *(I)*. Acestea se pot obține experimental utilizând montajul din fig. II.2.9, unde arcul electric are loc între electrozii unui tub de descărcare.

Prin deplasarea cursorului *C* pe tubul

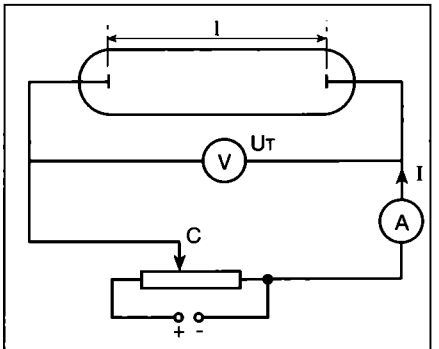


Fig. II.2.9. Montaj pentru ridicarea caracteristicii arcului electric.

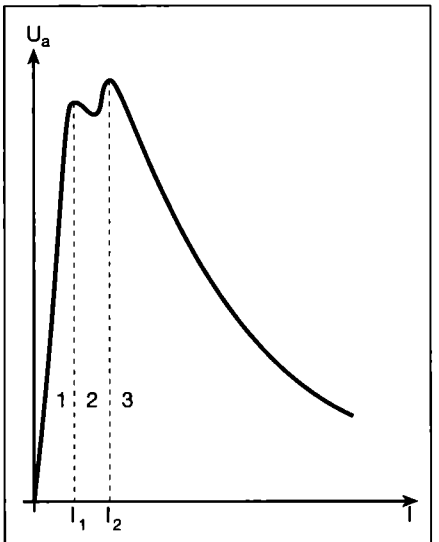


Fig. II.2.10. Variația $U_T = f(l)$ în tubul de descărcare:
1 - zona descărcării obscure;
2 - zona descărcării luminescente;
3 - zona descărcării în arc.

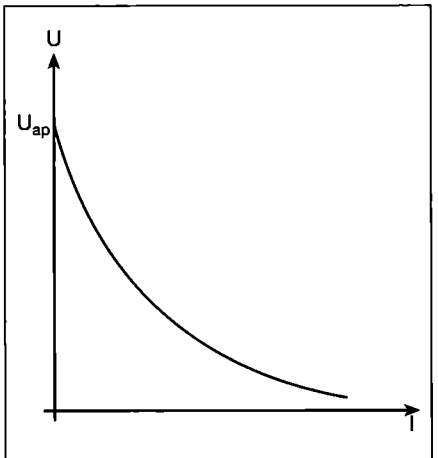


Fig. II.2.11. Caracteristica arcului electric, $U = f(l)$.

de descărcare se poate varia tensiunea. Aceasta este arătată de voltmetrul *V*. Curentul arcului este măsurat cu ampermetrul *A*.

Legătura dintre cele două mărimi este arătată în fig. II.2.10. Curba caracteristică a descărcării prezintă trei domenii în funcție de valoarea curentului prin tub:

$0 \le I \le I_1$ - *descărcare obscură*, în care tensiunea pe tub are o variație cu pantă foarte mare.

Curentul prin tubul de descărcare se datorează ionizării naturale existente în gazul din tub. Deplasarea electronilor și sarcinilor pozitive se face sub acțiunea forțelor electrostatice.

$I_1 \le I \le I_2$ - *descărcare luminescentă*, în care intensitatea câmpului electric dintre electrozi este ridicată, astfel că deplasarea sarcinilor se face cu viteze mari. Ciocnirile sarcinilor electrice cu particulele neutre nu au un caracter elastic, ci conduc la excitarea acestora. Mediul dintre electrozi se ionizează treptat, astfel că acesta devine mult mai conductiv. Tensiunea crește foarte puțin, în timp ce curentul crește semnificativ. Fenomenul de ionizare este însoțit și de emisia de trenuri de radiații electromagnetice a căror frecvență este în funcție de natura mediului din tub. O parte din aceste frecvențe se află în domeniul radiațiilor luminoase, astfel încât descărcarea este însoțită de efecte luminoase neuniforme de-a lungul tubului.

$I > I_2$ - *descărcare în arc*, ce se produce din momentul în care ionizarea din tub a ajuns la saturație. Arcul începe să funcționeze de la o valoare a curentului $I > I_2$. Deoarece curentul I_2 are o valoare redusă (de ordinul miliamperilor), în studiul arcului electric acest curent se neglijează și caracteristica arcului electric $U = f(I)$ pentru I = constant cuprinde numai curba corespunzătoare zonei 3 (fig. II.2.10) ca și cum arcul electric s-ar aprinde la atingerea tensiunii U_{ap} la un curent zero (fig. II.2.11).

Tensiunea dintre electrozii arcului nu variază liniar de-a lungul arcului. Căderile de tensiune ΔU_1 și ΔU_2 au loc în apropierea celor doi electrozi iar ΔU_l este căderea de tensiune pe coloana arcului. Aceasta din urmă are o variație liniară (fig. II.2.12) U_l.

Funcționarea arcului în curent continuu poate fi studiată folosind montajul din fig. II.2.13, unde:

U_s - constantă este tensiunea sursei;
R - rezistența circuitului electric din care face parte arcul electric;
U_a - tensiunea la bornele arcului;
L - inductanța proprie a circuitului.

Tensiunea U_a, în timpul funcționării arcului electric, variază cu intensitatea curentului I ca în fig. II.2.10 (zona 3).

Aplicând legea lui Kirchhoff pentru ochiul de rețea din fig. II.2.13, rezultă:

$$-L\frac{dI}{dt} = RI + U_a - U_s \qquad (2.5.1)$$

Arcul electric funcționează staționar atunci când I = const, deci cu condiția:

$$U_s - RI = U_a. \qquad (2.5.2)$$

Cei doi termeni ai relației 2.5.1 sunt reprezentați în fig. II.2.14.

Egalitatea 2.5.1 este îndeplinită și funcționarea arcului este staționară în punctele A și B de intersecție a celor două funcții:

$$U_s - RI = f_1(I) \text{ și } U_a = f_2(I) \qquad (2.5.3)$$

Funcționarea staționară nu este suficientă pentru o bună funcționare în timp. Este necesar ca funcționarea să fie și stabilă.

Funcționarea în punctul A:

Presupunem o modificare a parametrilor circuitului astfel încât curentul $I < I_A$.

Atunci $U_a > U_s - RI$, ceea ce conduce la: $-L(dI/dt) > 0$, sau derivata curentului în raport cu timpul este negativă. Deci funcția curentului $I(t)$ va scădea în continuare, tinzând către $I = 0$ și arcul se întrerupe.

Dacă $I > I_A$, atunci $U_s - RI > U_a$, $-L(dI/dt) < 0$ deci $I(t)$ va crește. Curentul nu revine nici în această situație la valoarea I_A corespunzătoare punctului anterior de funcționare.

Rezultă că funcționarea în punctul *A* este staționară, dar instabilă.

Funcționarea în punctul B:

O modificare a curentului $I < I_B$ este echivalentă cu situația anterioară în care $I > I_A$.

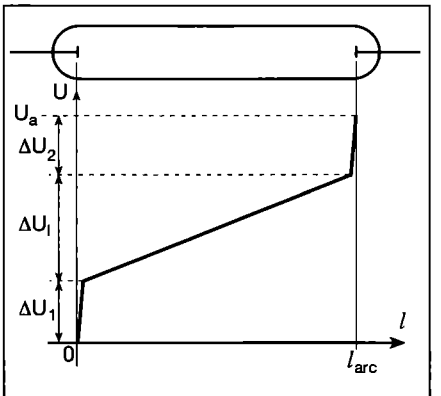


Fig. II.2.12. Variația căderilor de tensiune de-a lungul arcului.

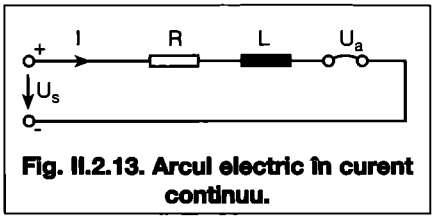


Fig. II.2.13. Arcul electric în curent continuu.

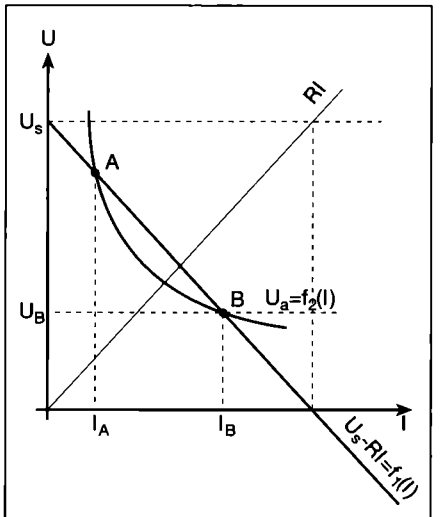


Fig. II.2.14. Reprezentarea funcțiilor U_a și $U_s - RI$ în funcție de curent.

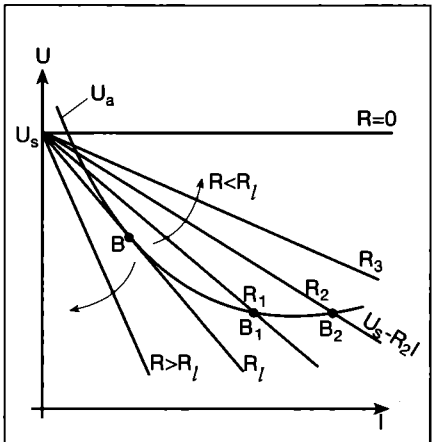


Fig. II.2.15. Modificarea punctului de funcționare în funcție de valoarea rezistenței R.

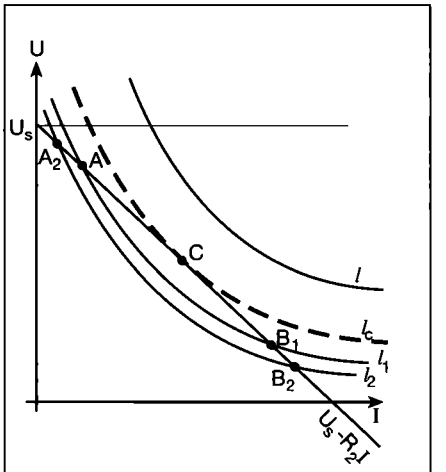


Fig. II.2.16. Modificarea punctului de funcționare în funcție de lungimea arcului.

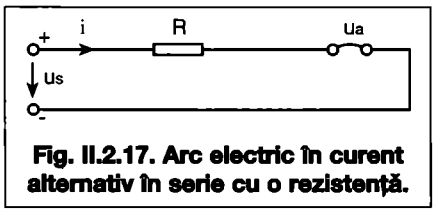


Fig. II.2.17. Arc electric în curent alternativ în serie cu o rezistență.

Funcția $I(t)$ este crescătoare, deci curentul revine la valoarea I_B.

Dacă $I > I_B$ rezultă $U_a > U_s - RI$, $-L(dI/dt) > 0$, $I(t)$ este descrescătoare și curentul revine la valoarea I_B. Rezultă că punctul B este un punct de funcționare staționară și stabilă. Acesta corespunde unei tensiuni mici (U_B) față de tensiunea sursei U_s și unui curent mare.

În funcție de valoarea rezistenței R din circuitul arcului, punctul de funcționare stabilă are diferite poziții, pentru un arc de caracteristică $U_a = f(I)$ dată.

R trebuie să aibă valori mai mici decât valoarea limită R_l - corespunzătoare punctului B de funcționare (unde $U_s - RI$ este tangentă la U_a).

Pentru valori $R > R_l$ arcul nu funcționează. La valori foarte mici ale lui R (ce tind către zero) arcul funcționează bine la căderi de tensiune pe arc foarte mici și la curenți foarte mari. Dar la curenți foarte mari electrozii arcului sunt în pericol de distrugere. De aceea un arc electric funcționează bine pentru valori $R < R_l$ și apropiate de R_l (fig. II.2.15).

În funcție de lungime arcului electric, caracteristica $U_a = f(l)$ are diferite poziții.

Pentru un circuit cu U_s și R date, pozițiile punctelor de funcționare stabilă a arcului se deplasează pe dreapta $U_s - RI$ de la punctul C în jos.

Punctul C este punctul corespunzător arcului cu lungimea critică l_c, pentru cele două puncte de funcționare staționară se confundă (curba U_a este tangentă la dreapta $U_s - RI$).

Astfel, arcuri cu lungimi $l_1 < l_c$ sunt arcuri ce pot funcționa stabil, în timp ce dacă lungimea dintre electrozi este $l > l_c$ arcul nu funcționează (fig. II.2.16).

b. Arcul electric în curent alternativ

Pentru a ușura analiza fenomenului se vor studia două cazuri limită simple:

b1. Arc electric în serie cu o rezistență (fig. II.2.17).

Tensiunea sursei este $u_s = U_m \sin \omega t$, iar tensiunea de aprindere a arcului U_{ap} = const. (tensiune ce depinde de distanța dintre electrozi, construcția electrozilor etc.).

Dacă $u_a < U_{ap}$, arcul nu funcționează și curentul $i = 0$. La bornele arcului tensiunea va fi $u_a = u_s$.

Dacă $u_a \geq U_{ap}$, atunci curentul $i \neq 0$ și conform legii lui Kirchhoff rezultă:

$$0 = R_i + U_{ap} - u_s \qquad (2.5.4)$$

și

$$i = \frac{U_m \sin \omega t - U_{ap}}{R} \qquad (2.5.5)$$

În fig. II.2.18 sunt reprezentate variațiile u_a și i în timp.

Tensiunea arcului u_a urmărește tensiunea sursei u_s până la valoarea U_{ap}. În acest timp curentul $i = 0$.

Curentul $i \neq 0$ și are forma dată de relația 2.5.5 cât timp $u_s > U_{ap}$.

Arcul funcționează cu întreruperi (timpul în care $i = 0$). Acestea sunt cu atât mai mari cu cât U_{ap} este mai mare. În fig. II.2.19 sunt reprezentați timpii de funcționare (t_f - timpul în care $u_s > U_{ap}$) în funcție de valoarea tensiunii de aprindere, U_{ap}. Cu cât U_{ap} crește, cu atât t_f scade.

În timpii de pauză t_p arcul electric se stinge. Mediul dintre electrozi se răcește, se deionizează.

Din aceste motive arcul funcționează greu sau chiar se întrerupe.

b2. Arc electric în serie cu o bobină ideală (fig. II.2.20)

Aplicând legea lui Kirchhoff pentru ochiul din fig. II.2.20 rezultă:

$$-L\frac{dI}{dt} = U_{ap} - U_m \sin \omega t \qquad (2.5.6)$$

Integrând, rezultă soluția:

$$i = -\frac{U_m}{\omega L}\cos \omega t - \frac{U_{ap}}{\omega L}\cdot \omega t + C_i \qquad (2.5.7)$$

unde:

C_i - este constantă de integrare. Aceasta rezultă din condiția $i = 0$ pentru $\omega t = \varphi$, unde φ este unghiul pentru care curentul se anulează.

Rezultă:

$$i = \frac{U_m}{\omega L}\left(\cos \varphi - \cos \omega t\right) + \frac{U_{ap}}{\omega L}\cdot\left(\varphi - \omega t\right) \qquad (2.5.8)$$

Cum $i = 0$ și pentru $\omega t = \varphi + \pi$, $\omega t = 2\pi$ etc., se obține:

$$\cos \varphi = \frac{U_{ap}}{U_m}\cdot\frac{\pi}{2},$$

iar relația 2.5.8 se mai poate scrie:

$$i = \frac{U_m}{\omega L}\cos \omega t + \frac{U_{ap}}{\omega L}\cdot\left(\frac{\pi}{2} + \varphi - \omega t\right) \qquad (2.5.9)$$

Curentul i este reprezentat grafic în fig. II.2.21, unde

$$i_1 = \frac{U_m}{\omega L}\cos \omega t$$

este componenta alternativă a curentului și

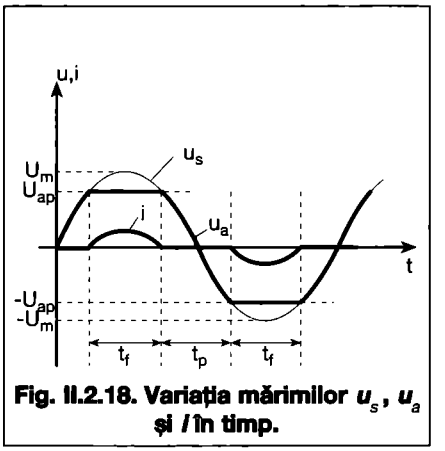


Fig. II.2.18. Variația mărimilor u_s, u_a și I în timp.

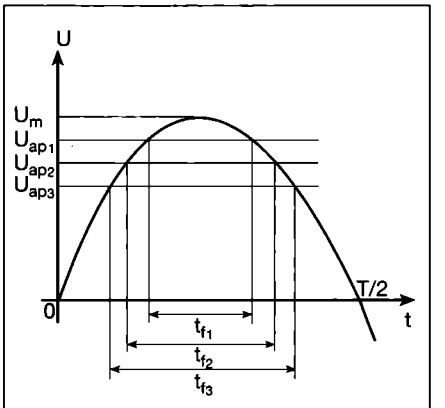


Fig. II.2.19. Variația timpului de funcționare într-o semiperioadă în funcție de valoarea tensiunii de aprindere U_{ap}.

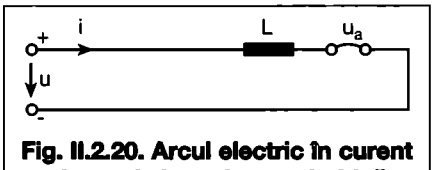


Fig. II.2.20. Arcul electric în curent alternativ în serie cu o bobină ideală.

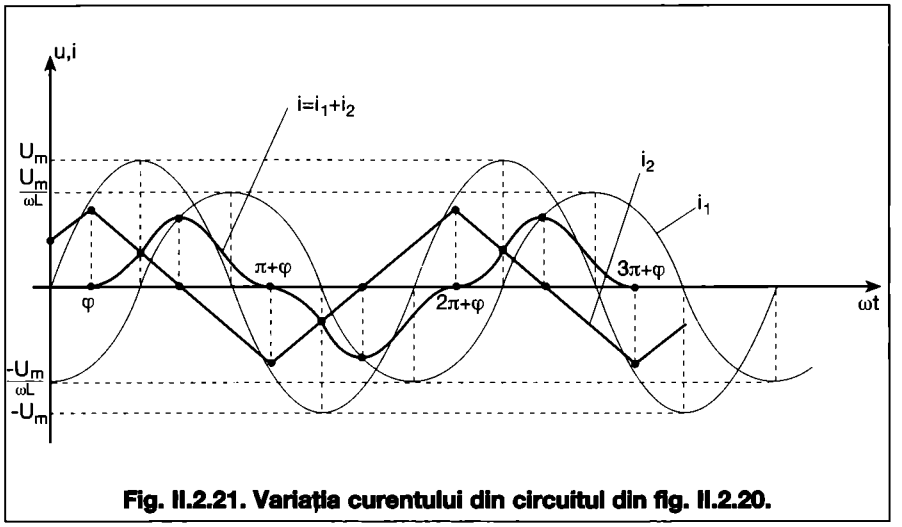


Fig. II.2.21. Variația curentului din circuitul din fig. II.2.20.

$$i_2 = \frac{U_{ap}}{\omega L}\left(\frac{\pi}{2} + \varphi - \omega t\right)$$

este componenta liniară.

Din modul de variație a curentului rezultă că arcul electric, în serie cu o bobină, are o funcționare mult mai stabilă, deoarece timpii în care curentul este zero sau foarte aproape de zero sunt mult mai mici decât în cazul în care arcul ar funcționa în serie cu o rezistență.

Concluzii privind funcționarea stabilă și instabilă a arcului electric:

- pentru o funcționare stabilă a arcului se pot aplica una sau mai multe din următoarele metode:
  - se mărește intensitatea câmpului dintre electrozi prin:
    * apropierea electrozilor;
    * mărirea tensiunii dintre electrozi prin impulsuri de tensiune;
  - se încălzesc electrozii, permițând eliberarea mai ușoară a electronilor din aceștia;
  - sunt utilizați electrozi speciali ce emit ușor electroni;
  - în serie cu arcul electric, se utilizează o rezistență, în curent continuu, și o bobină, în curent alternativ;
- pentru o funcționare instabilă și stingere ușoară a arcului electric se pot aplica una sau mai multe din următoarele măsuri;
  - se alungește arcul electric prin:
    * îndepărtarea contactelor;
    * suflarea arcului (termic, pneumatic, electromagnetic, cu gaz etc.);
  - se răcește spațiului dintre electrozi prin:
    * suflare;
    * cu ulei;
    * introducerea unor mase metalice masive reci;
  - divizarea arcului prin suflarea acestuia peste un grătar de stingere (plăci metalice din cupru sau oțel plasate perpendicular pe direcția arcului).

Stingerea arcului trebuie să se facă într-un timp controlat. Dacă timpul de stingere este prea mic pot apărea supratensiuni de comutație ce pot reaprinde arcul electric.

II. Instalații electrice

Capitolul 3

Funcționări anormale în instalații electrice

Introducere

Instalațiile electrice sunt dimensionate să funcționeze la anumite valori ale tensiunii, curentului, frecvenței ș.a.m.d. Dacă, în timpul funcționării, parametrii acestor instalații capătă alte valori decât cele normale, prevăzute de întreprinderile producătoare, atunci se intră în regimuri de funcționare anormală care pot produce deranjarea și avarierea instalațiilor electrice.

Efectul regimurilor anormale este cu atât mai nefavorabil cu cât timpul de funcționare în aceste regimuri este mai mare. Spre exemplu, creșterea valorii curentului peste valoarea nominală determină suprasolicitări de natură termică și mecanică care sunt cu atât mai mari cu cât valoarea supracurentului este mai mare (solicitările termice și mecanice se pot considera proporționale cu pătratul curentului). În aceste condiții, suprasolicitarea poate fi suportată de către instalație un anumit timp, care este cu atât mai mic cu cât solicitarea este mai mare. Funcția $t_d = f(I)$, unde t_d este timpul în care instalația se defectează atunci când este parcursă de supracurentul de intensitate I, se numește caracteristică de defectare și are graficul de forma celui din fig. II.3.1.

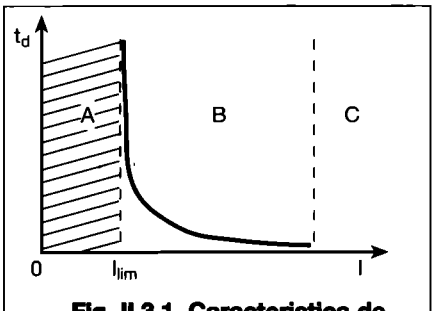


Fig. II.3.1. Caracteristica de defectare $t_d = f(I)$ a unei instalații electrice.

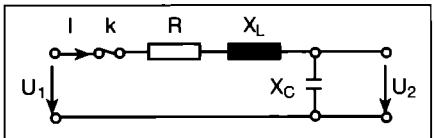


Fig. II.3.2. Schema unei linii electrice la care este conectată o capacitate.

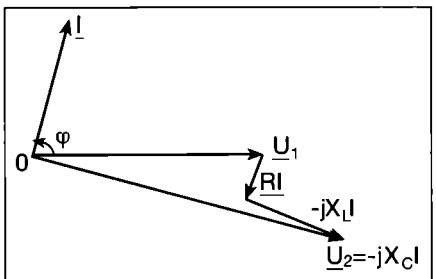


Fig. II.3.3. Diagrama fazorială corespunzătoare schemei din fig. II.3.2 sau ecuației 3.1.1.

Pentru curenții cu valori cuprinse între 0 și I_{lim} instalația electrică funcționează teoretic, fără a se defecta, un timp nelimitat. Acesta este domeniul funcționării cu sarcini normale - zona haşurată **A**.

În cazul funcționării cu curenți mai mari ca I_{lim}, defectarea se poate produce într-un interval de timp determinat de ordonata caracteristicii de defectare - zona **B** sau într-un timp foarte scurt care se poate considera practic nul - zona **C** (domeniul curenților de scurtcircuit).

Dacă din momentul apariției unui curent mai mare ca I_{lim} în domeniul valorilor ce caracterizează zona **B** și până la dispariția sau micșorarea curentului sub valoarea I_{lim} trece un timp mai mic decât t_d, atunci defectarea instalației nu are loc. De aceea, instalațiile electrice sunt prevăzute cu dispozitive de protecție, care după un timp, dacă suprasolicitarea nu a dispărut, deconectează instalația de la rețeaua de alimentare. Întârzierea sau temporizarea dispozitivelor de protecție trebuie să fie mai mică decât t_d.

În cazul apariției unui curent mai mare ca I_{lim}, dar în domeniul curenților de scurtcircuit - zona **C**, acționarea dispozitivelor de protecție trebuie să fie cât mai rapidă.

3.1. Funcționarea cu tensiune crescută

Creșterea tensiunii în instalațiile electrice apare atunci când funcționează cu baterii de condensatoare destinate îmbunătățirii factorului de putere conectate la rețeaua de alimentare, iar sarcina este redusă sau egală cu zero.

În fig. II.3.2 se prezintă cazul în care, la capătul unei linii electrice de alimentare, de rezistență R și reactanță inductivă $X_L = \omega L$, sarcina este nulă, iar bateria de condensatoare de reactanță capacitivă $X_C = 1/\omega C$ este conectată.

Considerând U_1 - tensiunea la începutul liniei și U_2 - tensiunea la sfârșitul liniei, ecuația în complex a tensiunilor din circuit este:

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 - R\underline{I} - j \cdot X_L\underline{I} \qquad (3.1.1)$$

unde:

$$\underline{U}_2 = -jX_C\underline{I} \qquad (3.1.2)$$

Diagrama fazorială corespunzătoare este prezentată în fig. II.3.3 și se observă că, în modul, tensiunea de la sfârșitul liniei este mai mare ca tensiunea de la începutul liniei și, deci, mai mare ca valoarea nominală. Astfel se poate ajunge la funcționare cu tensiune crescută, funcționare în care condensatoarele și sarcina vor fi străbătute de curenți mai mari ca cei nominali, numiți supracurenți de sarcină.

Pentru a determina creșterea de tensiune, din fig, II.3.3 se poate scrie:

$$|\underline{U}_2| = U_1 \sin\varphi + X_L I \qquad (3.1.3)$$

unde:

$$\sin\varphi = \frac{X_C - X_L}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}} \qquad (3.1.4)$$

și

$$I = \frac{U_1}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}} \qquad (3.1.5)$$

Înlocuind 3.1.4 și 3.1.5 în 3.1.3 rezultă:

$$U_2 = U_1 \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}} \qquad (3.1.6)$$

Creșterea de tensiune ΔU va fi:

$$\Delta U = U_2 - U_1 =$$

$$= U_1 \left[\frac{X_C}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}} - 1 \right] \qquad (3.1.7)$$

sau, în procente:

$$\Delta U = \left[\frac{X_C}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}} - 1 \right] \cdot 100 \ [\%]$$

(3.1.8)

Dacă rezistența R (a liniei de alimentare) este foarte mică în comparație cu reactanțele X_C și X_L, atunci ea se poate neglija și expresia 3.1.8 capătă forma:

$$\Delta U = \frac{X_L}{X_C - X_L} \cdot 100 \ [\%] \qquad (3.1.9)$$

Conectarea bateriilor de condensatoare la rețeaua de alimentare dă naștere, de asemenea, la o funcționare anormală și anume, produce un supracurent al cărui vârf este mai mare decât curentul nominal. Considerând circuitul din fig. II.3.2, la închiderea întreruptorului k în ipoteza că $X_L << R$ (deci X_L poate fi neglijat) și tensiunea rețelei de alimentare este sinusoidală [$u_1 = U_1 \sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi)$], se poate scrie:

$$u_1 = Ri + \frac{1}{C}\int i\,dt \qquad (3.1.10)$$

unde curentul i care străbate condensatorul în funcție de tensiunea u_2 la bornele condensatorului este:

$$i = C\frac{du_2}{dt} \qquad (3.1.11)$$

Înlocuind 3.1.11 în 3.1.10 se obține ecuația:

$$U_1\sqrt{2}\sin(\omega t + \varphi) = RC\frac{du_2}{dt} + u_2 \qquad (3.1.12)$$

a cărei soluție este:

$$u_1 = U_1\sqrt{2}\cdot \sin\psi\left[\cos(\varphi+\psi)e^{\frac{-t}{T}} - \cos(\omega t+\varphi+\psi)\right] \quad (3.1.13)$$

unde:

ψ = arctg Xc/R = arctg $1/\omega CR$;

T - este constanta de timp a procesului ($T = RC$).

Înlocuind 3.1.13 în 3.1.11 și prelucrând, rezultă la $t = 0$ curentul i_{soc} din momentul cuplării bateriei de condensatoare:

$$i_{soc} = \frac{U_1\sqrt{2}}{R}\sin\varphi \quad (3.1.14)$$

Se observă că intensitatea curentului de șoc este maximă în cazul în care cuplarea se face în momentul când $\varphi = \pi/2$, iar valoarea curentului, ca urmare a faptului că rezistența R a circuitului se caută să fie cât mai mică (pentru reducerea pierderilor de energie și de tensiune) este de multe ori mai mare ca valoarea curentului nominal. De asemenea, constanta de timp T este foarte mică datorită rezistenței R și conduce la o durată mică a regimului tranzitoriu - sub 1 s. În aceste condiții curentul de șoc nu este atât de periculos din punctul de vedere al încălzirii cât datorită faptului că poate determina declanșarea protecției la scurtcircuit. Pentru evitarea acestei declanșări, nedorite, și totodată pentru limitarea curentului de șoc, se recomandă ca la cuplarea bateriei de condensatoare la rețeaua de alimentare să se introducă în circuit rezistențe limitatoare de curent care apoi se scurtcircuitează.

3.2. Funcționarea cu tensiune scăzută (pierderi de tensiune)

Tensiunea scăzută la bornele unui receptor se datorează pierderilor de tensiune pe liniile de alimentare.

Efectele tensiunii scăzute la bornele receptoarelor depind de caracteristicile acestora.

În cazul lămpilor electrice (receptoare rezistive) tensiunea mai mică la borne are ca efect scăderea curentului prin lampă. Aceasta face ca fluxul luminos al lămpii să scadă și să se reducă nivelul de iluminare dat de sistemul de iluminat. Cum scăderea de flux este pronunțată (10...17 %) la scăderi mici ale tensiunii (3 %), este necesar ca pierderea de tensiune pe linii să fie cât mai mică.

În cazul motoarelor electrice (receptoare inductive) tensiunea mai mică la borne are ca efect creșterea curentului electric prin motor. Aceste receptoare absorb o putere electrică:

$$P_a = \frac{P_i}{\eta} = \sqrt{3}UI\cos\varphi \quad (3.2.1)$$

unde

P_i - este puterea instalată a motorului și este egală cu puterea mecanică a receptorului pe care-l antrenează,

η - este randamentul electric al motorului.

Cum P_i și η sunt constante, micșorarea tensiunii la bornele motorului are ca efect creșterea curentului și, ca urmare, pierderea de tensiune este limitată prin norme. Câteva exemple de pierderi de tensiune admisibile:

- între cofretul de branșament și receptorul de lumină (cel mai dezavantajos plasat) este ≤ 3 %;
- între postul de transformare și receptorul de lumină este ≤ 8 %,
- între cofretul de branșament și un motor în funcționare nominală este ≤ 5 %, iar în regim de pornire ≤ 12 %.

a - Calculul pierderii de tensiune pe liniile de curent continuu sau alternaiv, monofazat cu receptoare ohmice

Schema electrotehnică de calcul este dată în fig. II.3.4, în care s-au făcut următoarele notații:

R_1, R_2, R_3 - receptoarele electrice (în c.a. receptoare ohmice);

r_1, r_2, r_3 - rezistențele tronsoanelor liniei de lungimi l_1, l_2, l_3;

i_1, i_2, i_3 - curenții absorbiți de receptoare;

I_1, I_2, I_3 - curenții transportați pe tronsoanele liniei; prin tronson se înțelege porțiunea de linie dintre două receptoare consecutive;

R_1, R_2, R_3 - rezistențele liniei de la sursă la receptoarele R_1, R_2, R_3 și corespunzătoare lungimilor de linie L_1, L_2, L_3.

Sunt evidente relațiile:

$$\begin{aligned} R_1 &= r_1 \\ R_2 &= r_1 + r_2 \\ R_3 &= r_1 + r_2 + r_3 \end{aligned} \quad \text{și} \quad \begin{cases} I_3 = i_3 \\ I_2 = i_2 + i_3 \\ I_1 = i_1 + i_2 + i_3 \end{cases} \quad (3.2.2)$$

Pierderea de tensiune în valoarea absolută se poate scrie:

$$\Delta U = 2\left(r_1I_1 + r_2I_2 + r_3I_3\right) = 2\sum_{K=1}^{3}(rI)_K \quad (3.2.3)$$

Înlocuind curenții I cu relațiile 3.2.2 rezultă:

$$\Delta U = 2\left(R_1i_1 + R_2i_2 + R_3i_3\right) = 2\sum_{K=1}^{3}(Ri)_K$$

unde k reprezintă tronsonul liniei.

Pierderea de tensiune relativă în procente, generalizată pentru o linie cu n tronsoane, va fi:

$$\Delta U = \frac{2\cdot 100}{U}\sum_{K=1}^{n}(rI)_K = \frac{2\cdot 100}{U}\sum_{K=1}^{n}(Ri)_K[\%] \quad (3.2.4)$$

Înlocuind $r = l/\gamma s$; $R = L/\gamma s$; $I = P/U$; $i = p/U$, rezultă:

$$\Delta U = \frac{2\cdot 100}{\gamma\cdot U^2}\sum_{K=1}^{n}\left(\frac{lP}{s}\right)_K = \frac{2\cdot 100}{\gamma\cdot U^2}\sum_{K=1}^{n}\left(\frac{Lp}{s}\right)_K[\%] \quad (3.2.5)$$

unde p este puterea absorbită de receptoare și P este puterea transportată de tronsoanele liniei.

În c.a. monofazat $U = U_f = 230$ V.

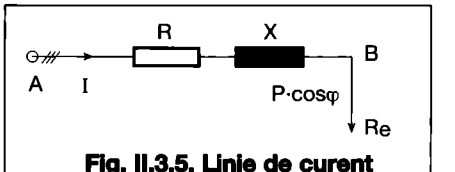


Fig. II.3.5. Linie de curent alternativ trifazat cu un receptor concentrat la capăt.

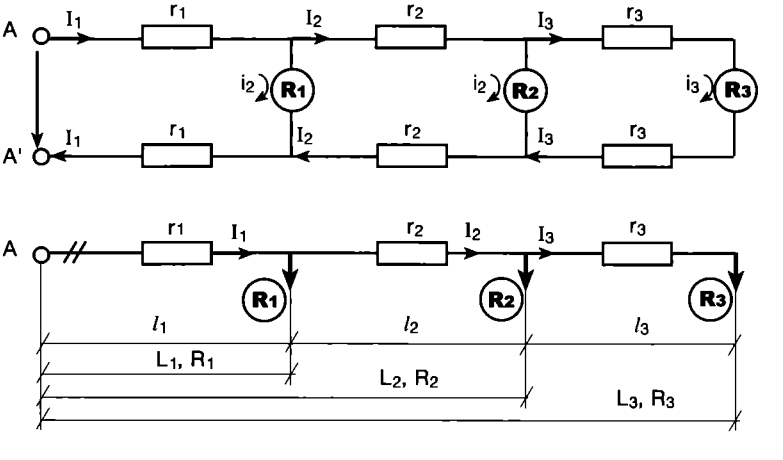


Fig. II.3.4. Schema de calcul a pierderii de tensiune pentru linii de c.c. sau c.a. monofazat cu receptoare ohmice.

b - Pierderea de tensiune pe liniile de curent alternativ trifazat cu receptor concentrat la capăt (linie încărcată simetric)

Schema electrotehnică de calcul este dată în fig. II.3.5, unde R și X sunt caracteristicile liniei de alimentare a receptorului. Acestea se pot determina cu relațiile:

$$\left.\begin{aligned} R &= R_0 l \\ X &= X_0 l \end{aligned}\right\} \quad (3.2.6)$$

unde:

R_0 și X_0 - sunt mărimi specifice (Ω/m) corespunzătoare liniei de alimentare, de lungime l.

P este puterea activă a receptorului și cos φ factorul de putere al acestuia.

I este curentul absorbit de receptor și transportat pe linie.

Legea lui Kirchhoff corespunzătoare ochiului din fig. II.3.5 este:

$$-jX\underline{I} = R\underline{I} + \underline{U}_B - \underline{U}_A \quad (3.2.7)$$

unde:

U_A - este tensiunea sursei (la tabloul electric) și

U_B - tensiunea la bornele receptorului.

Pierderea de tensiune pe linie este:

$$\Delta U = \sqrt{3}\Delta U_f = \sqrt{3}\left(U_A - U_B\right) \quad (3.2.8)$$

Diferența U_A - U_B se determină din diagrama fazorială corespunzătoare relației 3.2.7 din fig. II.3.6.

Pentru calcul se face următoarea construcție. Cu raza $OA = U_A$ se duce un arc de cerc ce intersectează OB în C.

Din A și E se duc perpendiculare pe OC și se obțin punctele D și F. Întrucât unghiul δ (dintre U_A și U_B) este de 1-2°, segmentul CD este foarte mic și se poate neglija în calcul.

Pierderea de tensiune pe fază este:

$$\Delta U_f = U_A - U_B = OC - OB \approx OD - OB = BD = BF + FD = RI\cos\varphi + XI\sin\varphi \quad (3.2.9)$$

Deci pierderea de tensiune pe linie este:

$$\Delta U = \sqrt{3}\left(RI\cos\varphi + XI\sin\varphi\right) \quad (3.2.10)$$

și în procente:

$$\Delta U = \frac{100\Delta U}{U} = \frac{\sqrt{3}\cdot 100\cdot I\cdot l}{U}\cdot\left(R_0\cos\varphi + X_0\sin\varphi\right) \quad [\%] \quad (3.2.11)$$

unde:

R_0 și X_0 - sunt rezistența și, respectiv, reactanța inductivă unitară ([Ω/m] sau [Ω/km]) a liniei.

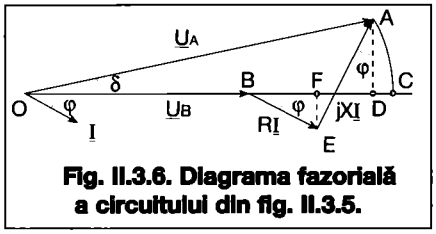


Fig. II.3.6. Diagrama fazorială a circuitului din fig. II.3.5.

Relația 3.2.11 se mai poate scrie:

$$\Delta U = \frac{100\Delta U}{U} = \frac{100}{U^2}\cdot\left(RP + XQ\right) \quad [\%] \quad (3.2.12)$$

unde:

Q - este puterea reactivă a receptorului.

Pentru liniile în care cos φ are valoare mare (0,7 ... 1) și $R >> X$, relația 3.2.12 devine:

$$\Delta U = \frac{100}{\gamma U^2}\cdot\frac{P\cdot l}{s} \quad [\%] \quad (3.2.13)$$

c - Pierderea de tensiune pe liniile de curent alternativ trifazat cu mai multe receptoare concentrate (fig. II.3.7.)

S-au făcut următoarele notații:

r_1, r_2, r_3, x_1, x_2, x_3 - sunt caracteristicile tronsoanelor de alimentare ale liniei și depind de secțiunile și lungimile acestora;

I_1, I_2, I_3 - curenții pe tronsoanele liniei cărora le corespunde puterile transportate P_1, P_2, P_3, respectiv Q_1, Q_2, Q_3.

Pierderea de tensiune rezultată din generalizarea relației 3.2.11:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}\cdot 100}{U}\sum_{i=1}^{n}\left(r_i I_i\cos\varphi_i + x_i I_i\sin\varphi_i\right) \quad [\%] \quad (3.2.14)$$

unde:

n - este numărul de tronsoane ale liniei.

Se mai pot folosi relațiile:

$$\Delta U = \frac{100}{U^2}\sum_{1}^{n}\left(r_i P_i + x_i Q_i\right) \quad [\%] \quad (3.2.15)$$

sau

$$\Delta U = \frac{100}{\gamma U^2}\sum_{1}^{n}\frac{P_i\cdot l_i}{s_i} \quad [\%] \quad (3.2.16)$$

atunci când factorul de putere este mare și $r_i >> x_i$.

Exemplu de calcul

Se calculează pierderea de tensiune de la un post de transformare (*PT*) la un tablou electric secundar (*TS*), linia de alimentare având caracteristicile din fig. II.3.8 în următoarele ipoteze:

1. linia este folosită pentru alimentarea unor receptoare de lumină, cu un factor de putere ridicat, $\cos\varphi = 0{,}95$;
2. linia este folosită pentru alimentarea unor receptoare de forță, cu un factor de putere scăzut, $\cos\varphi = 0{,}7$ (pentru simplificare toate tronsoanele au $\cos\varphi = 0{,}7$).

Rezolvare:

1. *În ipoteza 1:*

Factorul de putere este ridicat și atunci termenii $x_i Q_i$ pot fi neglijați deoarece $x_i << r_i$ la secțiuni mici și $Q_i << P_i$.

Se aplică relația 3.2.16:

$$\Delta U = \frac{100}{\gamma U^2}\sum_{1}^{3}\frac{P_i\cdot l_i}{s_i} = \frac{100}{56\cdot 380^2}\cdot\left(\frac{15\cdot 10^3\cdot 25}{10} + \frac{45\cdot 10^3\cdot 15}{35} + \frac{100\cdot 10^3\cdot 50}{70}\right) =$$

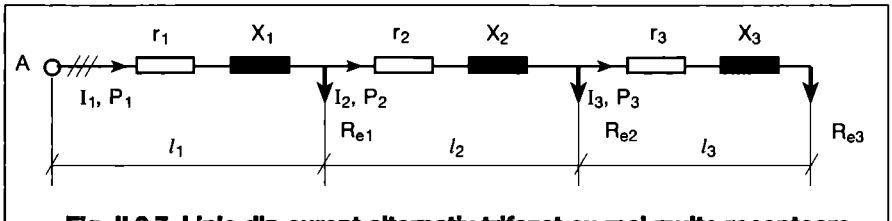


Fig. II.3.7. Linie din curent alternativ trifazat cu mai multe receptoare concentrate R_c.

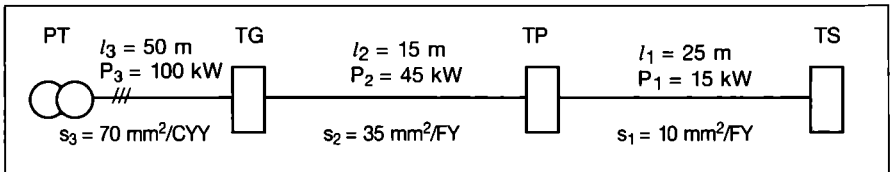


Fig. II.3.8. Linia de alimentare pentru tabloul secundar TS.

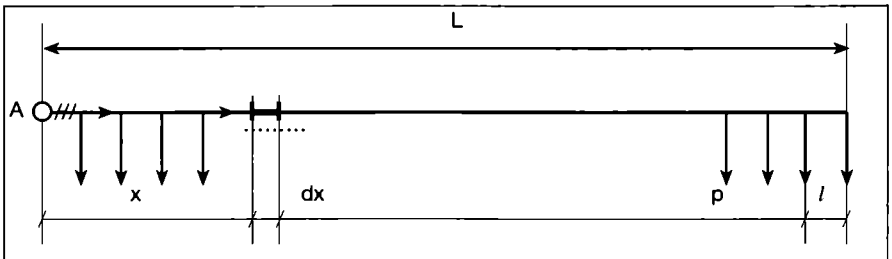


Fig. II.3.9. Linie de curent alternativ trifazat cu receptoare ohmice uniform distribuite.

$= 1,58\ \%$

2. *În ipoteza 2*, termenii $x_i Q_i$ nu pot fi neglijați. Din datele problemei rezultă:

$Q_1 = 15,3$ KVA;
$Q_2 = 45,9$ KVA;
$Q_3 = 102,0$ KVA;
$x_{01} = 0,096\ \Omega$/km;
$x_{02} = 0,084\ \Omega$/km;
$x_{03} = 0,079\ \Omega$/km;
$r_{01} = 1,790\ \Omega$/km;
$r_{02} = 0,511\ \Omega$/km;
$r_{03} = 0,256\ \Omega$/km.

Aplicând relația 3.2.15 unde:

$r_i = r_{0i} l_i$ și $x_i = x_{0i} l_i$

rezultă:

$$\Delta U = \frac{100}{U^2} \sum_1^3 \left(r_{0i} l_i P_i + x_{0i} l_i Q_i\right) =$$

$$= \frac{100}{380^2} \cdot (1,790 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^3 +$$

$$+0,511 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 45 \cdot 10^3 +$$

$$+0,256 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^3 +$$

$$+0,096 \cdot 25 \cdot 10^{-3} \cdot 15,3 \cdot 10^3 +$$

$$+0,084 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 45,9 \cdot 10^3 +$$

$$+0,079 \cdot 50 \cdot 10^{-3} \cdot 102 \cdot 10^3) =$$

$$= 0,46 + 0,24 + 0,89 + 0,03 +$$

$$+0,04 + 0,28 = 1,94 \quad \%$$

În ipoteza 2 pierderea de tensiune este aproximativ cu 23 % mai mare decât în ipoteza 1.

d - Pierderea de tensiune pe liniile de curent alternativ trifazat cu receptoare ohmice uniform distribuite (fig. II.3.9)

Receptoarele pot fi considerate uniform distribuite dacă distanța l dintre două receptoare este mult mai mică decât lungimea totală a liniei L și puterea p a unui receptor este mult mai mică decât puterea totală absorbită de linia P. Un bun exemplu îl constituie liniile electrice de alimentare a iluminatului exterior.

Pe porțiunea de linie infinit mică dx, aflată la distanța x de sursă, pierderea de tensiune este:

$$d\left(\Delta U\right)_x = \sqrt{3} I_x\, dr_x \qquad (3.2.17)$$

unde:

I_x - este curentul necesar să alimenteze receptoarele de pe porțiunea $(L\text{-}x)$ din linie și dr_x este rezistența liniei de lungime dx.

Se fac notațiile:

$$I_0 = \frac{I}{L} \quad [\text{A/m}]$$

$$R_0 = \frac{R}{L} \quad [\Omega/\text{m}] \qquad (3.2.18)$$

unde:

I_0 - este considerat curentul absorbit de un metru din linie și

R_0 - rezistența unitară a liniei.

Atunci rezultă:

$$I_x = I_0 \left(L - x\right)$$

$$dr_x = R_0 dx \qquad (3.2.19)$$

Înlocuind 3.2.19 în 3.2.17 și integrând de la 0-L rezultă:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} R_0 I_0}{2} \cdot L^2$$

sau

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} R I}{2} \qquad (3.2.20)$$

Rezultă că pierderea de tensiune pe astfel de linii se poate calcula ca și pierderea pe o linie cu un singur receptor concentrat (echivalent cu al receptoarelor uniform distribuite) amplasat la mijlocul liniei.

e - Pierderea de tensiune pe linia de curent alternativ trifazată cu receptoare concentrate alimentată la ambele capete (fig. II 3.10)

S-au făcut următoarele notații:

$\underline{i}_1, \underline{i}_2, \ldots \underline{i}_4$ - curenții absorbiți de receptoare;

$\underline{U}_A$ și $\underline{U}_{A'}$ - tensiunile de la capetele liniei;

$\underline{z}_1, \underline{z}_2, \ldots \underline{z}_5$ - impedanțele tronsoanelor liniei de lungimi $l_1, \ldots l_5$.

Mărimile de mai sus sunt cunoscute deoarece se cunosc caracteristicile receptoarelor ca și parametrii tronsoanelor ce compun linia.

Cu $\underline{I}_A$ și $\underline{I}_{A'}$ s-au notat curenții de alimentare ai surselor A și A';

I_2, I_3, I_4 - sunt curenții transportați pe tronsoanele liniei către receptoare;

$L_1, L_2, \ldots L_4$ - lungimile liniei de la sursa din A până la fiecare dintre receptoare. Acestora le corespund impedanțele $\underline{Z}_1, \ldots \underline{Z}_4$; $\underline{Z}_t$ este impedanța totală a liniei.

Cu $L_1', \ldots L_4'$ și, respectiv, $\underline{Z}_1', \ldots \underline{Z}_4'$ s-au notat lungimile și impedanțele corespunzătoare ale liniei de la capătul A' până la fiecare dintre cele 4 receptoare.

Cum receptoarele sunt alimentate de la cele două capete, există un receptor (fig. II.3.10, receptorul 3) care absoarbe curent atât de la sursa din A ($\underline{i}_{3A}$), cât și de la sursa din A'($\underline{i}_{3A'}$).

Calculul pierderii de tensiune pentru linia din fig. II.3.10 se reduce la calculul pierderii de tensiune pe două linii trifazate încărcate simetric cu sarcini concentrate (ca în tipul c de rețea), ca în fig. II.3.11.

Se consideră drept pierdere de tensiune a liniei alimentată la două capete pierderea de tensiune cea mai mare dintre cele două pierderi pe liniile echivalente (fig. II.3.11).

Din fig. II.3.11 rezultă:

$$\underline{U}_A - \underline{U}_{A'} =$$

$$= \sqrt{3}\left(\underline{I}_A \underline{z}_1 + \underline{I}_2 \underline{z}_3 - \underline{I}_4 \underline{z}_4 - \underline{I}_{A'} \underline{z}_5\right) \qquad (3.2.21)$$

Ținând seama de relațiile:

$$\left.\begin{aligned} \underline{Z}_1 &= \underline{z}_1 \\ \underline{Z}_2 &= \underline{z}_1 + \underline{z}_2 \\ \underline{Z}_3 &= \underline{z}_1 + \underline{z}_2 + \underline{z}_3 \\ \underline{Z}_4 &= \underline{z}_1 + \underline{z}_2 + \underline{z}_3 + \underline{z}_4 \\ \underline{Z}_t &= \underline{z}_1 + \underline{z}_2 + \underline{z}_3 + \underline{z}_4 + \underline{z}_5 \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.22)$$

$$\left.\begin{aligned} \underline{Z}_1' &= \underline{z}_2 + \underline{z}_3 + \underline{z}_4 + \underline{z}_5 = \underline{Z}_t - \underline{Z}_1 \\ \underline{Z}_2' &= \underline{z}_3 + \underline{z}_4 + \underline{z}_5 = \underline{Z}_t - \underline{Z}_2 \\ \underline{Z}_3' &= \underline{z}_4 + \underline{z}_5 = \underline{Z}_t - \underline{Z}_3 \\ \underline{Z}_4' &= \underline{z}_5 = \underline{Z}_t - \underline{Z}_4 \end{aligned}\right\} \qquad (3.2.23)$$

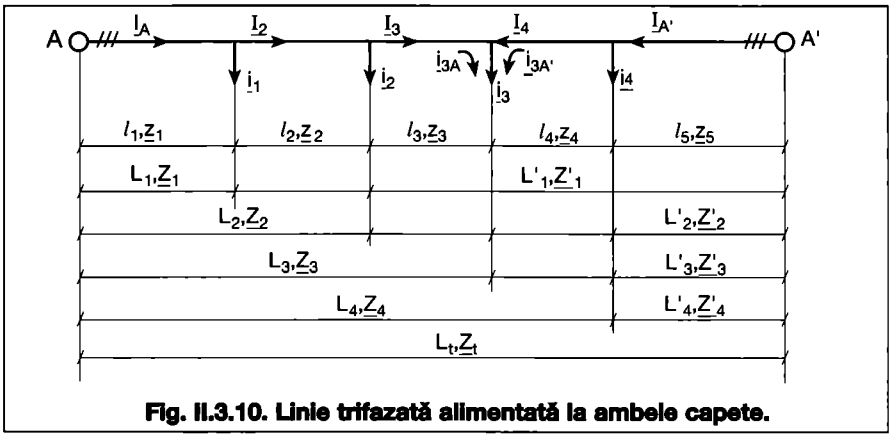


Fig. II.3.10. Linie trifazată alimentată la ambele capete.

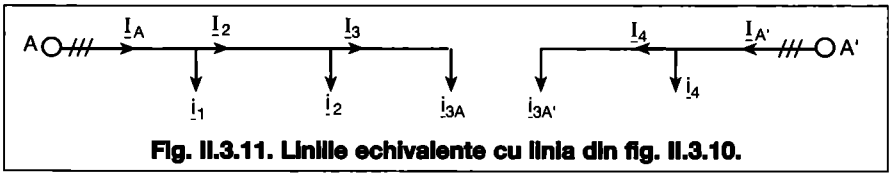


Fig. II.3.11. Liniile echivalente cu linia din fig. II.3.10.

$$\left.\begin{aligned}
&\underline{I}_A = \underline{i}_1 + \underline{I}_2\\
&\underline{I}_2 = \underline{i}_2 + \underline{I}_3\\
&\underline{I}_3 = \underline{i}_{3A}\\
&\underline{I}_{A'} = \underline{i}_4 + \underline{I}_4\\
&\underline{I}_4 = \underline{i}_{3A'}\\
&\underline{i}_3 = \underline{i}_{3A} + \underline{i}_{3A'}\\
&\underline{I}_A = \underline{i}_1 + \underline{i}_2 + \underline{i}_{3A}\\
&\underline{I}_{A'} = \underline{i}_4 + \underline{i}_{3A'}\\
&\underline{I}_A + \underline{I}_{A'} = \underline{i}_1 + \underline{i}_2 + \underline{i}_3 + \underline{i}_4
\end{aligned}\right\} \quad (3.2.24)$$

Relația 3.2.21 devine:

$$\underline{U}_A - \underline{U}_{A'} = \sqrt{3}\,[\underline{I}_A \underline{z}_1 + (\underline{I}_A - \underline{i}_1)\underline{z}_2 + (\underline{I}_A - \underline{i}_1 - \underline{i}_2)\underline{z}_3 - (\underline{i}_1 + \underline{i}_2 + \underline{i}_3 - \underline{I}_A)\underline{z}_4 - (\underline{i}_1 + \underline{i}_2 + \underline{i}_3 + \underline{i}_4 - \underline{I}_A)\underline{z}_5] =$$
$$= \sqrt{3}\,[\underline{I}_A(\underline{z}_1 + \underline{z}_2 + \underline{z}_3 + \underline{z}_4 + \underline{z}_5) - \underline{i}_1(\underline{z}_2 + \underline{z}_3 + \underline{z}_4 + \underline{z}_5) - \underline{i}_2(\underline{z}_3 + \underline{z}_4 + \underline{z}_5) - \underline{i}_3(\underline{z}_4 + \underline{z}_5) - \underline{i}_4\underline{z}_5] =$$
$$= \sqrt{3}\,[\underline{I}_A \underline{Z}_t - \Sigma\, \underline{i}_i \underline{Z}_{i'}] \quad (3.2.25)$$

Curentul absorbit de sursa *A* reprezintă:

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A - \underline{U}'_A}{\sqrt{3}\underline{Z}_t} + \frac{\sum \underline{i}_i \underline{Z}'_i}{\underline{Z}_t} \quad (3.2.26)$$

Analog:

$$\underline{I}'_A = \frac{\underline{U}'_A - \underline{U}_A}{\sqrt{3}\underline{Z}_t} + \frac{\sum \underline{i}_i \underline{Z}_i}{\underline{Z}_t} \quad (3.2.27)$$

3.3. Pornirea motoarelor electrice

3.3.1. Pornirea motoarelor de curent continuu

Ecuația ce caracterizează mecanic funcționarea motorului de curent continuu cu excitația în derivație (adică dependența între turația motorului și cuplul electromagnetic al motorului) este:

$$n = \frac{U}{K_e \cdot \Phi} - M\frac{R_a + R_p}{K_e \cdot \Phi \cdot K_m \cdot \Phi} \quad (3.3.1)$$

unde:

- n - este turația motorului;
- M - cuplul electromagnetic dezvoltat de motor;
- U - tensiunea continuă aplicată motorului;
- K_e și K_m - constantele electrică și mecanică ale motorului;
- Φ - fluxul magnetic rezultat din motor;
- R_a - rezistența înfășurării indusului (rotorului) motorului;
- R_p - rezistența de pornire, legată în serie cu R_a.

Dacă tensiunea aplicată este cea nominală (U_n), fluxul magnetic este cel nominal (Φ_n) și rezistența de pornire R_p este nulă, atunci expresia 3.3.1 capătă forma:

$$n = \frac{U_n}{K_e \cdot \Phi_n} - M\frac{R_a}{K_e \cdot \Phi_n \cdot K_m \cdot \Phi_n} = ct - M \cdot ct' \quad (3.3.2)$$

și reprezintă caracteristica mecanică naturală (c.m.n.) a motorului de curent continuu cu excitația în derivație. Caracteristica este o dreaptă (fig. II.3.12).

La pornire, $n_p = 0$ și se observă din fig. II 3.12 că momentul corespunzător M (intersecția c.m.n. cu axa momentului) este, mai mare, de multe ori ca M_n. Ținând cont de faptul că momentul este direct proporțional față de curent:

$$M = K_m \cdot \Phi \cdot I \quad (3.3.3)$$

înseamnă că și curentul I_p absorbit de la rețeaua de alimentare la pornire este mai mare, de multe ori, față de curentul nominal I_n [$I_p = (10...20)I_n$]. Aceasta se datorează rezistenței mici a circuitului rotoric, căreia, la pornire, i se aplică la borne întreaga tensiune a reței de alimentare, așa cum rezultă din 3.3.2. După prelucrare, prin înlocuirea lui M_p cu $K_m \cdot \Phi_n \cdot I_p$ și a lui n_p cu zero rezultă:

$$I_p = U_n / R_a \quad (3.3.4)$$

Curenții foarte mari de la pornire deranjează, deoarece duc la căderi mari de tensiune în rețeaua de alimentare, la eforturi electrodinamice în înfășurarea rotorică, la posibila apariție a focului circular la colector și la solicitări termice (în special, la pornirile care durează mult). Din aceste motive nu se conectează direct la rețea decât motoarele de putere foarte mică și cu momente mici de inerție. Altfel, pentru limitarea efectelor prezentate, curentul de pornire se limitează la valori $I_p = (2...2,4)\ I_n$ prin înserierea unor rezistențe de pornire R_p, prin micșorarea tensiunii aplicate sau utilizând electronica de putere (motoare, choppere).

- Prin introducerea de rezistențe la pornire în serie cu circuitul rotoric, relația 3.3.4 capătă forma:

$$I_p = U_n /(R_a + R_p) \quad (3.3.5)$$

deci curentul la pornire se micșorează, iar panta caracteristicii mecanice, dată de ecuația 3.3.1, în condițiile $U = U_n$; $\Phi = \Phi_n$ și $R_p \neq 0$, crește (a se vedea fig. II.3.12 - caracteristicile mecanice artificiale reostatice - c.m.a.r., cu rezistențele de pornire R_{p1}, R_{p2} și R_{p3} unde $R_{p1} > R_{p2} > R_{p3}$; caracteristicile sunt numite astfel după parametrul care poate fi modificat).

Acum, rezistența totală din circuitul rotoric este:

$$R_{rot} = R_a + R_p \quad (3.3.6)$$

În practică, atunci când se efectuează o pornire cu rezistențe, se alege un interval de variație a curentului la pornire între o valoare maximă:

$I_{pmax} = (1,5...2)I_n$

și una minimă:

$I_{pmin} = (1,1...1,3)I_n$;

corespunzător acestor valori se determină rezistențele de pornire. În fig. II.3.12 este înfățișată o astfel de pornire. La conectarea motorului la sursă, în serie cu rezistența înfășurării rotorice, se introducere o rezistență R_{p1}, astfel încât curentul de pornire să fie egal cu I_{pmax} (punctul *a*). Motorul pornește și turația începe să crească. Când turația ajunge la valoarea n_b și curentul absorbit de la rețea ia valoarea I_{pmin}, se scoate din circuit o parte din rezistența R_{p1} (prin scurtcircuitare), în circuit rămânând rezistența R_{p2}. Astfel se trece de pe caracteristica mecanică artificială reostatică cu rezistența R_{p1} (fig. II.3.12 - c.m.a.r.R_{p1}) pe caracteristica mecanică artificială reostatică cu rezistența R_{p2} (c.m.a.r.R_{p2}). Trecerea se face astfel încât, pe noua caracteristică mecanică artificială reostatică (c.m.a.r.R_{p2}), curentul să nu depășească valoarea I_{pmax}. Punctul de funcționare trece din *b* în *c*. De aici, procesul se repetă identic, până se scoate din circuit toată rezistența introdusă la pornire, și punctul de funcționare ajunge pe caracteristica mecanică naturală, stabilindu-se în *F* în cazul funcționării la

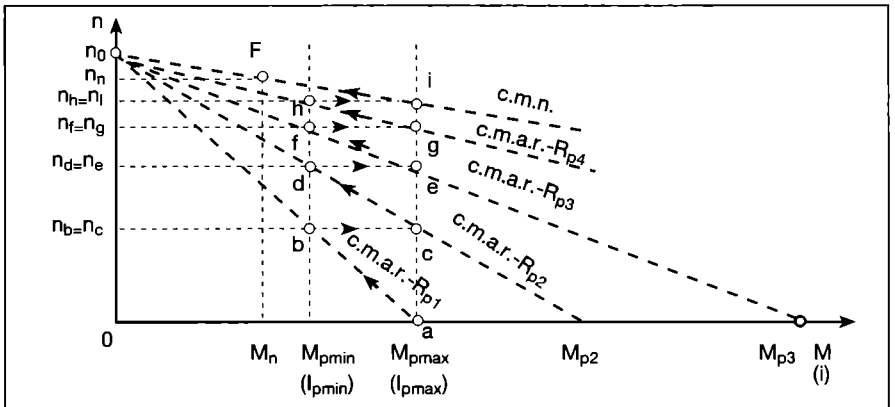


Fig. II.3.12. Dependența între turația n și cuplul electromagnetic M la motorul de curent continuu cu excitația în derivație:
F - punctul de funcționare la parametrii nominali (n_n și M_n); n_0 - punctul de funcționare în gol ideal (când M = 0).

sarcina nominală. Numărul de etape sau trepte este, în principiu, de 3...4, putându-se ajunge în anumite situații până la 7.

Calculul rezistențelor de pornire. Rezistența de pornire R_{p1} se determină din relația 3.3.5:

$$R_{p1} = \frac{U_n}{I_{p\,max}} - R_a \qquad (3.3.7)$$

Rezistența care trebuie să rămână în treapta a doua - R_{p2}, se obține din relația 3.3.1, punând condiția ca aceasta să fie verificată de punctul de funcționare *c*. Deci:

$$n_C = \frac{U_n}{K_e\Phi_n} - I_{p\,max}\frac{R_a + R_{p2}}{K_e\Phi_n} \qquad (3.3.8)$$

unde, în funcție de datele de pe plăcuța motorului sau din catalog (P_n, U_n, I_n, n_n) se pot determina:

$$K_e\Phi_n \cong \frac{U_n - R_a I_n}{n_n} \qquad (3.3.9)$$

R_a (în cazul în care nu se poate măsura cu un ohmetru)

$$R_a \cong \frac{U_n I_n - P_n}{I_n^2}(0,3...0,5) \qquad (3.3.10)$$

iar turația n_C, tot din relația 3.3.2, dar punând condiția ca în punctul de funcționare *b* să se verifice, în cazul c.m.a.r - R_{p1}, adică:

$$n_C = n_b = \frac{U_n}{K_e\Phi_n} - I_{p\,min}\frac{R_a + R_{p1}}{K_e\Phi_n} \qquad (3.3.11)$$

Introducând acum valorile determinate în relația 3.3.8, se obține rezistența:

$$R_{p2} = \frac{U_n - n_c K_e\Phi_n}{I_{p\,max}} - R_a =$$

$$= \frac{U_n - K_e\Phi_n\dfrac{U_n - (R_a + R_{p1})I_{p\,min}}{K_e\Phi_n}}{I_{p\,max}} - R_a =$$

$$= \frac{I_{p\,min}}{I_{p\,max}}(R_a + R_{p1}) - R_a \qquad (3.3.12)$$

Rezistența care se scurtcircuitează la trecerea de pe prima pe a doua treaptă va fi:

$$R_I = R_{p1} - R_{p2} \qquad (3.3.13)$$

În continuare, pentru determinarea rezistențelor R_{p3}, R_{p4}.... a turațiilor în punctele de funcționare *e*, *g*.... și a rezistențelor care se scurtcircuitează R_{II}, R_{III}.... se procedează la fel ca mai sus.

Exemplu de calcul:

Se determină valorile rezistențelor de pornire în cauzul pornirii cu rezistențe înseriate în circuitul rotoric al motorului de curent continuu cu excitația în derivație care are următoarele date nominale:

$P_n = 29$ KW; $U_n = 440$ V; $I_n = 76$ A; $n_n = 1000$ rot/min; $I_p = 15\ I_n$

Se adoptă:

$I_{pmax} = 2I_n = 2 \cdot 76 = 152$ A și

$I_{pmin} = 1,2\ I_n = 1,2 \cdot 76 = 91,2$ A

Pentru motorul respectiv, conform relațiilor 3.3.3 și 3.3.9 se obțin:

$R_a = U_n / I_p = 440/15 \cdot 76 = 0,386\ \Omega$

și

$$K_e\Phi_n = \frac{U_n - R_a I_n}{n_n} = \frac{440 - 0,386 \cdot 76}{\frac{100}{60}} \cong 24,6$$

Rezistența care trebuie introdusă la pornire în circuitul rotoric se poate determina cu relația 3.3.7 și are valoarea:

$$R_{p1} = \frac{U_n}{I_{p\,max}} - R_a = \frac{440}{152} - 0,386 = 2,5\ \Omega$$

Rezistența R_{p2} care trebuie să rămână în circuit când punctul de funcționare trece din *b* în *c* (conform fig. II.3.12) este dată de relația 3.3.12 și are valoarea:

$$R_{p2} = \frac{I_{p\,min}}{I_{p\,max}}(R_a + R_{p1}) - R_a =$$

$$= \frac{91,2}{152}(0,386 + 2,5) - 0,386 \cong 1,35\ \Omega$$

Rezistența scurtcircuitată în treapta întâi conform 3.3.13 este:

$R_I = R_{p1} - R_{p2} = 2,5 - 1,35 = 1,15\ \Omega$

Rezistența R_{p3} care rămâne în circuit la trecerea punctului de funcționare din *d* în *e* se calculează cu formula 3.3.12, adaptată pentru punctul *e* și are valoarea:

$$R_{p3} = \frac{I_{p\,min}}{I_{p\,max}}(R_a + R_{p2}) - R_a =$$

$$= \frac{91,2}{152}(0,386 + 1,35) - 0,386 \cong 0,65\ \Omega$$

Rezistența scurtcircuitată în treapta a doua:

$R_{II} = R_{p2} - R_{p3} = 1,35 - 0,65 = 0,7\ \Omega$

În continuare, se procedează la fel pentru punctele $f \longrightarrow g$ și $h \longrightarrow i$ (fig.II.3.12) obținându-se:

$$R_{p4} = \frac{I_{p\,min}}{I_{p\,max}}(R_a + R_{p3}) - R_a =$$

$$= \frac{91,2}{152}(0,386 + 0,65) - 0,386 \cong 0,23\ \Omega$$

și $R_{III} = R_{p3} - R_{p4} = 0,65 - 0,23 = 0,42\ \Omega$

iar

$$R_{p5} = \frac{I_{p\,min}}{I_{p\,max}}(R_a + R_{p4}) - R_a =$$

$$= \frac{91,2}{152}(0,386 + 0,23) - 0,386 \cong -0,02\ \Omega$$

ceea ce arată că se intră direct pe caracteristica mecanică naturală (semnul minus) și, în acest caz, rezistența scurtcircuitată în treapta a patra este egală cu tot ce a mai rămas în circuit, adică cu R_{p4}: $R_{IV} = R_{p4} = 0,23\ \Omega$

• *Pornirea cu tensiune scăzută și creșterea apoi progresivă a acesteia până la valoarea nominală* reprezintă o metodă care se folosește numai atunci când sursa de alimentare de curent

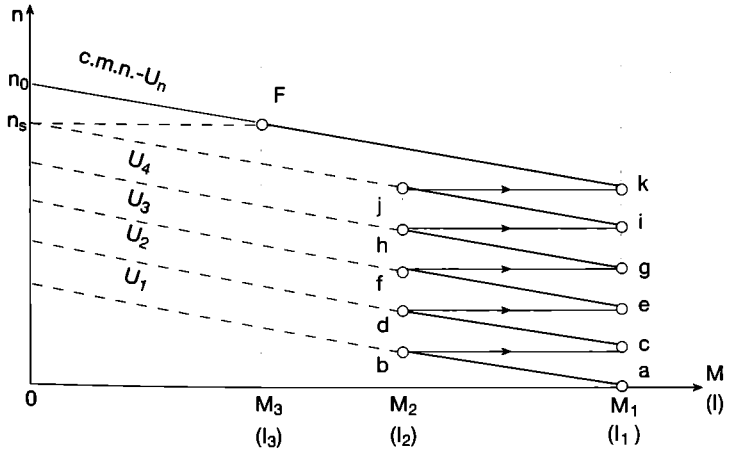


Fig. II.3.13. Pornirea motorului de c.c. cu excitația în derivație pe caracteristici mecanice artificiale de tensiune.

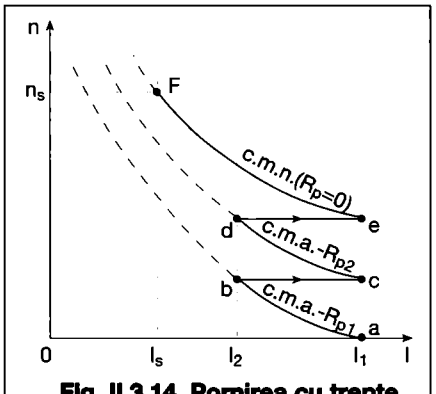


Fig. II.3.14. Pornirea cu trepte de rezistențe a motorului de curent continuu cu excitația în serie.

continuu este o sursă cu tensiune reglabilă. În aceste condiții, curentul de pornire conform relației 3.3.5 devine:

$$I_p = U/R_a \qquad (3.3.14)$$

și se observă că el scade odată cu scăderea tensiunii aplicate.

Pornirea începe pe caracteristica mecanică artificială de tensiune (numită astfel după parametrul care poate fi modificat), în condițiile în care $U = U_1$, $\Phi = \Phi_n$ și $R_p = 0$. Tensiunea U_1 se determină astfel încât punctul de funcționare să corespundă la pornire (când $n = 0$) curentului maxim adoptat $I_1 = I_{pmax}$ (fig. II.3.13). Când punctul de funcționare ajunge în *b* (datorită creșterii turației), unde curentul este I_2 (curentul minim adoptat la pornire $I_2 = I_{pmin}$), I_2 fiind mai mare decât curentul staționar corespunzător sarcinii I_s, se trece pe o altă caracteristică mecanică artificială de tensiune U_2, într-un punct *c*, care corespunde curentului maxim I_1 (ce nu va fi depășit în cursul acestei porniri).

Procesul se repetă, prin reglarea tensiunii la valorile U_3 ($U_3 > U_2$), U_4 ($U_4 > U_3$) ș.a.m.d., până se ajunge pe caracteristica mecanică naturală U_n, în punctul de funcționare *F*. Cei doi curenți limită, între care se face pornirea, I_1 și I_2 au, în general, valori apropiate datorită numărului mare de trepte de tensiune.

Față de pornirea cu reostat, pornirea prin modificarea tensiunii de alimentare a motorului este mai economică, ea eliminând elementele disipative de energie (rezistențele de pornire).

• *Utilizând electronica de putere*, pornirea poate decurge la curent constant, iar reglarea tensiunii se face în mod continuu. Spre exemplu, în cazul utilizării redresoarelor cu tiristoare, se acționează manual sau automat asupra dispozitivelor de comandă pe grilă care modifică continuu unghiul de comandă a tiristoarelor, și totodată, și valoarea tensiunii redresate care se aplică motorului.

În cazul motorului de curent continuu cu excitația în serie, pornirea cu trepte de rezistențe se poate face între limite de curenți mai mari, deoarece șocurile sunt mai mici (curentul maxim la pornire I_1 putând ajunge acum până la 2,5 I_n). În fig. II.3.14 se prezintă deplasarea punctului de funcționare în cazul pornirii cu trepte de rezistențe și se observă că pornirea începe din punctul *a* (corespunzător unei rezistențe R_{p1}), când turația este $n = 0$ și curentul I_1. La rezistență constantă, turația crește, curentul scade și punctul de funcționare se deplasează pe caracteristică spre stânga până ajunge în punctul *b* (corespunzător curentului minim de pornire I_2). În acest moment se scurtcircuitează o parte din rezistența, R_{p1}, rămânând în circuit rezistența R_{p2}. Punctul de funcționare trece la turația constantă din *b* în *c*, iar curentul ajunge din nou la valoarea I_1. Din acest moment, procesul se repetă până se scurtcircuitează toată rezistența de pornire și punctul de funcționare intră pe caracteristica mecanică naturală, stabilindu-se în punctul de funcționare *F*, corespunzător curentului de sarcină I_s.

La motorul de curent continuu cu excitație mixtă, pornirea și calculul rezistențelor de pornire se fac la fel ca la motorul de curent continuu cu excitația în derivație, contribuția înfășurării de excitație în serie fiind practic aceeași pe toată durata pornirii.

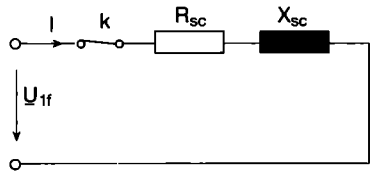


Fig. II.3.15. Schema electrică echivalentă a motorului asincron în momentul pornirii:
R_{SC} - rezistența de scurtcircuit;
X_{SC} - reactanța de scurtcircuit;
k - întreruptor; $\underline{U}_{1f}$ - tensiunea rețelei în complex (pe fază);
I - curentul absorbit de motor.

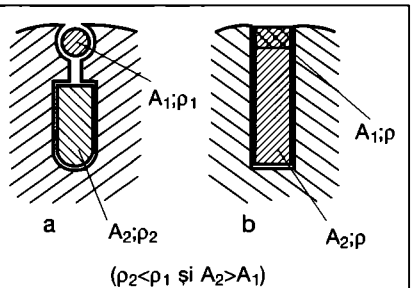


Fig. II.3.16. Secțiune prin rotorul scurtcircuitat al unui motor asincron trifazat:
a - cu dublă colivie; b - cu bare înalte.

Tabelul II.3.1. Curenții de pornire și cuplurile de pornire pentru motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit (Nsa)

Putere nominală [kW]	1...5,5	7...30	30...40	40...100
I_p/I_n	7,2	7,2	6,5	6,5
M_p/M_n	1,6	1,2	1,1	0,9

3.3.2. Pornirea motoarelor asincrone trifazate

În momentul cuplării la rețeua de alimentare a motorului asincron, rotorul acestuia este imobil ($n = 0$) și curenții prin mașină au valorile de scurtcircuit, așa cum rezultă din schema electrică echivalentă a motorului asincron în momentul pornirii (fig. II.3.15):

$$\underline{I}_p = \underline{I}_{sc} = \frac{\underline{U}_{1f}}{R_{sc} + jX_{sc}} = \frac{\underline{U}_{1f}}{\underline{Z}_{sc}} \qquad (3.3.15)$$

Curentul de pornire I_p este mare și este cuprins, în mod obișnuit, în limitele (4...8) I_n. El variază în timpul procesului de pornire datorită caracteristicilor funcționale atât ale motorului, cât și ale sarcinii. În practică, în mod acoperitor, se poate considera pentru întreaga durată a pornirii că I_p este constant și egal cu (4...8) I_n, valoare ce se poate utiliza și pentru efectuarea verificării densității de curent la pornire. Dacă durata pornirii nu se poate determina sau evalua, atunci se poate adopta durata acoperitoare de 40 s.

Curentul de pornire, pe durata pornirii, determină solicitări termice și mecanice periculoase pentru înfășurări și, de asemenea, datorită valorilor mari, determină pierderi mari de tensiune, atât în propriul circuit de alimentare cu energie electrică, cât și în circuitele altor receptoare, prin intermediul coloanei de alimentare comune.

Pierderea de tensiune în circuitul propriu este nefavorabilă deoarece cuplul de pornire este micșorat (cuplul fiind proporțional cu pătratul tensiunii de alimentare) și, ca urmare, accelerația unghiulară la pornire este mică, iar durata pornirii se prelungește. În cazuri cu totul defavorabile, procesul pornirii nici nu poate avea loc.

Pierderea de tensiune determinată în circuitele altor motoare conduce la creșterea curenților absorbiți de acestea și la accentuarea scăderii tensiunii.

Calculul pierderii de tensiune la pornire se face pentru circuite cu ajutorul relației 3.2.12, unde puterile *P* și *Q* se determină în funcție de curentul de pornire [$I_p = (4...8)I_n$] și de factorul de putere nominal dacă nu se cunoaște cel corespunzător pornirii, iar pentru coloanele de alimentare, cu ajutorul curentului de vârf al coloanei I_v, calculat cu relația:

$$I_v = \sum_{i=1}^{n} I_{ni} + I_{pM} \qquad (3.3.16)$$

unde:
I_{ni} - este curentul nominal al motorului *i*;
I_{pM} - curentul de pornire al motorului *M* (cel mai mare curent de pornire).

În relația 3.3.16 s-a presupus, acoperitor, că toți curenții sunt în fază (deci toate motoarele au același factor

de putere).

Când fabrica producătoare nu prescrie valoarea pierderii de tensiune la pornire, maxim admisibilă, atunci aceasta se poate considera egală cu 12 %.

După cum se poate observa din tabelul II.3.1, pentru motoarele obișnuite, momentul de pornire este destul de mic și, de aceea, când este posibil, pornirea acestor motoare se face în gol. În caz contrar, se caută soluții pentru creșterea momentului de pornire a motoarelor asincrone trifazate.

• *Pornirea prin conectare directă la rețea*

Această metodă constă în cuplarea directă a înfășurării statorice la rețeaua de alimentare și prezintă toate inconvenientele menționate mai sus. De aceea, utilizarea ei nu se acceptă decât în cazul motoarelor de putere mică, adică sub 5,5 kW la U_n = 380 V, cu limitarea șocurilor de tensiune în rețea la valori admisibile mai mici sau egale cu 10 %, iar pe linia de alimentare a motorului la valori mai mici sau egale cu 15 %.

De asemenea, ea mai poate fi utilizată în cazul motoarelor asincrone trifazate cu rotorul în scurtcircuit, prevăzute cu dublă colivie sau cu bare înalte (fig. II.3.16).

Pornirea directă a acestor motoare se bazează pe efectul pelicular al curentului alternativ (refularea curentului electric spre suprafața conductorului odată cu creșterea frecvenței) care are ca urmare micșorarea suprafeței active (parcurse de curentul electric) a conductorului și deci mărirea rezistenței acestuia ($R = \rho \cdot l/A$). La pornire, când turația rotorului este nulă, frecvența f_2 a curentului din rotor este maximă (50 Hz, pentru rețeaua industrială din țara noastră) și curentul străbate numai secțiunea A_1 (fig. II. 3.16). Rezistența conductorului este, în acest caz:

$$R_1 = \rho_1 \cdot l/A_1 \qquad (3.3.17)$$

și are o valoare mare. După demarare, turația rotorului crește, iar frecvența f_2 scade și când se ajunge la valoarea nominală, frecvența f_2 este de circa 0,2...0,3 Hz și curentul străbate acum întreaga secțiune ($A_1 + A_2$). Rezistența conductorului în acest caz este:

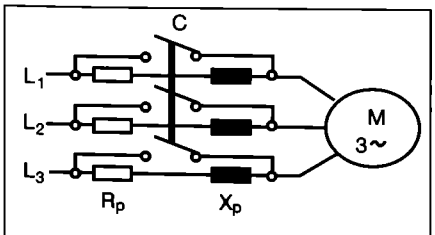


Fig. II.3.19. Motorul asincron conectat cu impedanțe de pornire în serie.

$$R_{ech} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad (3.3.18)$$

și se observă că este mai mică sau mult mai mică decât R_1 (după cum s-au ales A_1, A_2, ρ_1 și ρ_2).

Valoarea mare a rezistenței rotorice la pornire ($R_{rot} = R_1$) limitează intensitatea curentului de pornire și a șocului de curent la valori admisibile.

• *Pornirea cu tensiune scăzută, în trepte, cu autotransformator*

Constă în alimentarea motorului asincron prin intermediul unui autotransformator sau transformator. Dacă tensiunea este micșorată de k ori, atunci intensitatea curentului de pornire absorbit de la rețeaua de alimentare scade de k^2 ori. Considerând S_p - puterea absorbită de la rețea la pornirea directă și S_p' - puterea absorbită prin autotransformatorul cu raportul de transformare k, se poate scrie:

$$S_p = U_{1n} I_p \text{ și } S_p' = U_{1n} I_p' \qquad (3.3.19)$$

sau

$$S_p = U_{1n}^2 / Z_{sc} \text{ și } S_p' = (U_{1n}/k)^2 \cdot (1/Z_{sc}) \qquad (3.3.20)$$

Raportul celor două puteri conduce la:

$$I_p' = (1/k^2) \cdot I_p \qquad (3.3.21)$$

Pe de altă parte, cuplul la pornire M_p a motorului se reduce și el de k^2 ori, datorită dependenței lui de pătratul tensiunii de alimentare:

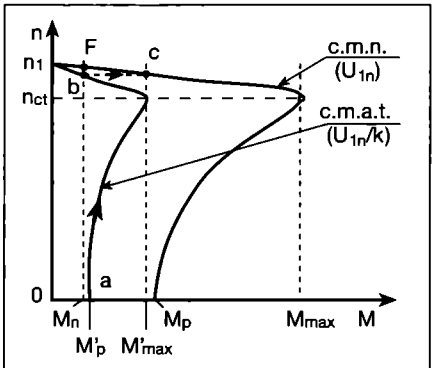


Fig. II.3.17. Diagrama pornirii cu autotransformator.

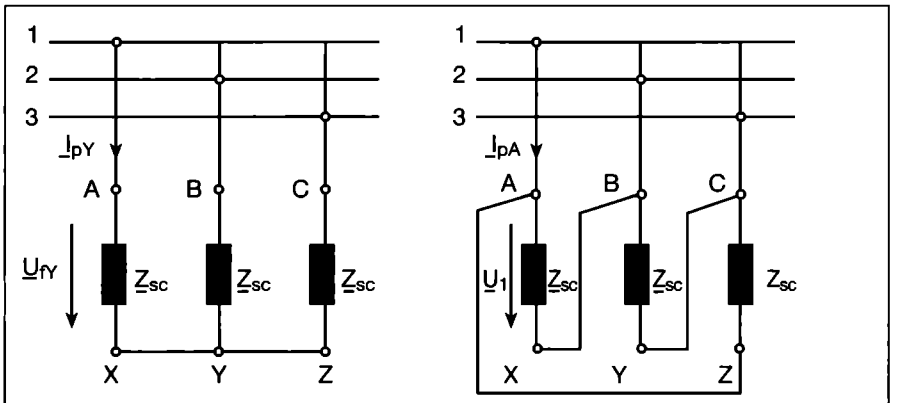


Fig. II.3.18. Conectarea înfășurărilor statorice ale unui motor asincron trifazat:
a - conexiune stea; b - conexiune triunghi.

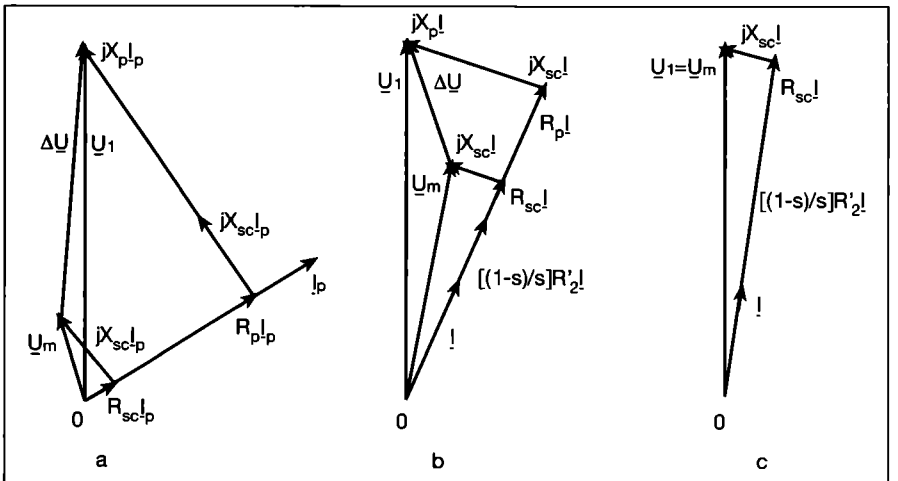


Fig. II.3.20. Diagramele fazoriale corespunzătoare pornirii motorului asincron cu impedanțe conectate în serie:
a - în momentul cuplării la rețea; b - în momentul atingerii turației staționare cu impedanțele înseriate; c - în momentul scurtcircuitării impedanțelor (închiderea contactorului C din fig. II.3.19);
R_p, X_p - parametrii impedanței de pornire; R_{sc} X_{sc} - parametrii de scurtcircuit ai motorului; R_2' - rezistența rotorului; s - alunecarea.

$M'_p/M_p = (U_{1n}/k)^2/U_{1n}^2 = (1/k^2)$ (3.3.22)

În aceste condiții, pentru a beneficia de avantajul reducerii curentului de pornire și a evita dezavantajul reducerii cuplului motor, pornirea cu autotransformator se execută în gol sau la sarcină redusă. Când turația motorului s-a apropiat suficient de mult de turația de sincronism, se trece la alimentarea motorului la tensiunea rețelei, continuu, în trepte sau direct, în funcție de șocurile care apar.

Diagrama pornirii, pe caracteristicile mecanice corespunzătoare (cu tensiune scăzută și naturală) este prezentată în fig. II.3.17, pornirea executându-se pe traiectoria *a-b-c-F*.

Metoda se utilizează pentru pornirea motoarelor de putere medie și mare, alimentate din rețele de joasă sau medie tensiune.

• *Pornirea prin comutarea stea - triunghi*

Este o pornire cu tensiune redusă, care constă în aplicarea sistemului trifazat de tensiuni, în prima fază a pornirii, înfășurării statorice a motorului conectată în stea, iar după atingerea unei turații de 90 ... 95 % din turația de sincronism, înfășurării comutate în triunghi.

Pornirea stea - triunghi se aplică motoarelor de mică și medie putere care trebuie să aibă scoase la cutia de borne cele 6 capete ale înfășurărilor și funcționează la putere nominală cu fazele statorice alimentate în triunghi.

Metoda prezintă avantajul unei reduceri a curentului de pornire de trei ori. În fig. II.3.18 sunt prezentate cele două tipuri de conexiuni. Dacă se notează cu Z impedanța pe o fază a motorului, atunci curenții de pornire în conexiunea stea I_{PY} și, respectiv, în conexiunea triunghi $I_{P\Delta}$ vor fi:

$$I_{PY} = \frac{U_{fY}}{Z_{sc}} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{Z} \qquad (3.3.23)$$

$$I_{P\Delta} = \sqrt{3}\frac{U_l}{Z}$$

Făcând raportul celor doi curenți de pornire, din 3.3.23 rezultă:

$$\frac{I_{PY}}{I_{P\Delta}} = \frac{1}{3} \qquad (3.3.24)$$

În privința cuplului de pornire, având în vedere raportul tensiunilor pe o fază a înfășurării, se constată că scade de trei ori față de cuplul de pornire nominal. Ținând seama de scăderea cuplului, pornirea se va face cu sarcini reduse de trei ori sau în gol.

Dacă se analizează pornirea cu comutator stea - triunghi, prin prisma pornirii prezentate în fig. II.3.18, se constată că procesul de comutare trebuie să se facă, obligatoriu, la alunecări suficient de mici, pentru a nu da naștere la șocuri de curent la trecerea în triunghi, comparabile cu cele de la conectarea directă în triunghi, anulând astfel avantajul principal al metodei. Din aceleași motive, timpul în care se face manevra de trecere din conexiunea stea în triunghi trebuie să fie foarte mic. La efectuarea conexiunilor în circuitele de forță trebuie avut în vedere ca la comutarea din stea în triunghi să nu se modifice succesiunea fazelor sistemului de alimentare, caz în care, la comutare, ar apare o frânare în contracurent, urmată apoi de o pornire directă în triunghi.

• *Pornirea cu impedanțe intercalate în serie cu motorul asincron*

Indiferent de faptul că impedanțele au caracter preponderent ohmic sau inductiv, acțiunea lor se manifestă prin crearea unei căderi de tensiune ΔU de valoare proporțională cu intensitatea curentului de pornire, ceea ce face ca tensiunea la bornele motorului U_m să crească pe măsură ce turația rotorului crește.

În fig. II.3.19 se prezintă schema cu impedanțele intercalate în serie cu motorul asincron în vederea reducerii intensității curentului de pornire, iar în fig. II.3.20, diagramele fazoriale corespunzătoare pornirii motorului asincron conectat ca în fig. II.3.19.

• *Pornirea cu rezistențe înseriate cu circuitul rotoric al motorului asincron*

Metoda este aplicabilă numai în cazul motoarelor asincrone trifazate cu rotorul bobinat (sau cu inele), spre deosebire de precedentele care se pot aplica oricărui tip de motor asincron - cu rotor bobinat sau în colivie (în special, celor din urmă) și conduce, pe de o parte, la reducerea intensității curenților de pornire, iar pe de altă parte, la creșterea cuplului de pornire până la valori care pot egala cuplul maxim. Ea constă din înserierea fazelor înfășurării rotorice cu un reostat trifazat de pornire, reglabil în trepte sau continuu, ca în fig. II.3.21.

Analizând relațiile ce caracterizează funcționarea motorului asincron rezultă că, la modificarea valorii rezistenței circuitului rotoric, se modifică alunecarea critică s_m (corespunzătoare momentului maxim M_{max}), în timp ce cuplul maxim rămâne constant.

$$s_{mp} = \frac{R'_2 + R'_p}{X_{SC}} \qquad (3.3.25)$$

și

$$I_{1p} \cong \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + R'_2 + R'_p\right)^2 + X_{SC}^2}} \qquad (3.3.26)$$

unde:

s_{mp} - este alunecarea critică când rezistența R_p este conectată în circuit;

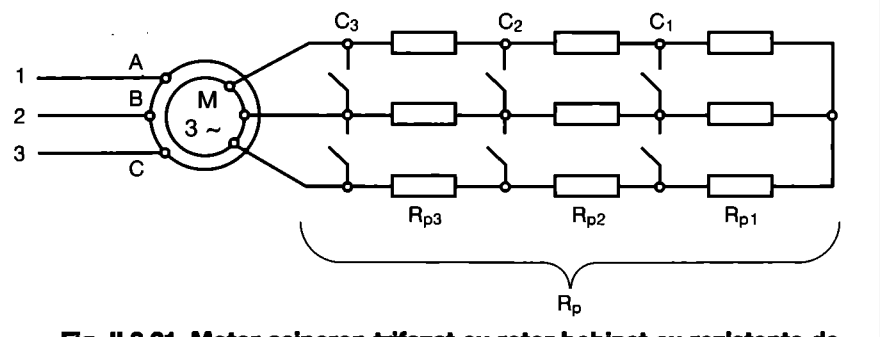


Fig. II.3.21. Motor asincron trifazat cu rotor bobinat cu rezistențe de pornire înseriate cu circuitul rotoric:
C_1, C_2, C_3 - contactoare; R_{p1}, R_{p2}, R_{p3} - rezistențe de pornire.

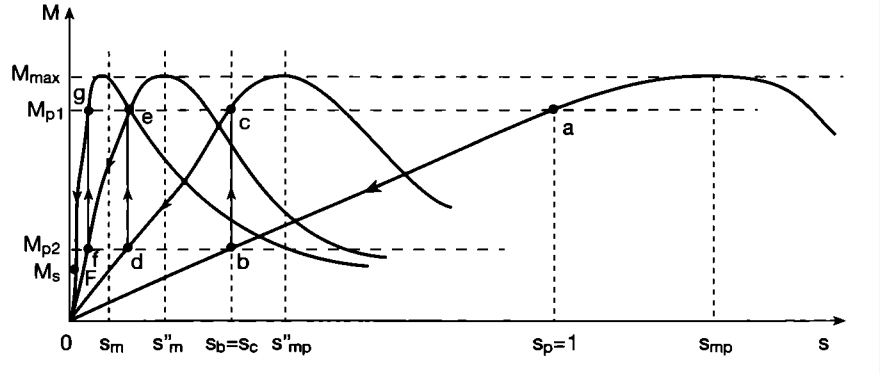


Fig. II.3.22. Diagrama pornirii motorului asincron trifazat cu rotorul bobinat cu rezistențe de pornire înseriate cu circuitul rotoric.

R_2' - rezistența circuitului rotoric raportată la stator;
R_p' - rezistența de pornire raportată la stator;
I_{1p} - curentul absorbit la pornire de înfășurarea statorică de la rețeaua de alimentare;
R_1 - rezistența înfășurării statorice.

Din formula 3.3.26 rezultă că prin introducerea rezistențelor de pornire R_p, în circuitul rotoric, se obține reducerea curentului absorbit de motor de la rețea.

Ecuația lui Kloss:

$$M = \frac{2M_{max}}{\frac{s_m}{s} + \frac{s}{s_m}} \qquad (3.3.27)$$

pune în evidență faptul că la pornire, când $s = 1$, pentru o alunecare critică s_m ce poate deveni și ea egală cu 1 în cazul unei anumite valori a rezistenței de pornire R_p, cuplul de pornire poate deveni egal cu cuplul maxim.

Singurul dezavantaj al acestei porniri constă în pierderile de energie ce au loc în reostatul de pornire.

Realizarea pornirii cu rezistențe în circuitul rotoric înseamnă calcularea unui reostat de pornire, având un număr de trepte (3...7), scurtcircuitate într-o anumită succesiune și la anumite intervale de timp, care să asigure un cuplu maxim la pornire,

$$M_{p1} = (0,8 \div 0,9)\, M_{max} \qquad (3.3.28)$$

(coeficientul adoptându-se în funcție de pierderea maximă de tensiune a rețelei, admisă în condițiile cele mai nefavorabile) și un cuplu minim:

$$M_{p2} = (1,1...1,3)\, M_S \qquad (3.3.29)$$

unde:

M_S - este cuplu static al mașinii de lucru.

Diagrama pornirii în 3 trepte pe curbele caracteristicilor mecanice este prezentată în fig. II.3.22, pornirea făcându-se pe traiectoria *a-b-c-d-e-f-g-F*.

Rezistența R_p se calculează astfel ca, la pornire, punctul de funcționare să se afle pe zona stabilă a caracteristicii mecanice artificiale reostatice (în a) corespunzător cuplului maxim la pornire M_{p1} adoptat. Ecuația lui Kloss, 3.3.27, trebuie să fie verificată de punctul de funcționare, a ($s = s_p = 1$ și $M = M_{p1}$) și cunoscând cuplul maxim M_{max} al motorului asincron, rezultă:

$$M_{p1} = \frac{2M_{max}}{\frac{s_{mp}}{1} + \frac{1}{s_{mp}}} \qquad (3.3.30)$$

Ecuația 3.3.30 conține o singură necunoscută, s_{mp}, care poate fi determinată. Acum, cu ajutorul relației 3.3.25 și cunoscând parametrii R_2 și X_{SC} se poate determina valoarea rezistenței R_p. Dacă nu se cunoaște reactanța de scurtcircuit X_{SC}, se poate apela la relația:

$$\frac{s_{mp}}{s_m} = \frac{R_2' + R_p'}{R_2'} = \frac{R_2 + R_p}{R_2} \qquad (3.3.31)$$

Când punctul de funcționare ajunge în *b*, unde $s = s_b$ și $M = M_{p2}$, se închide contactorul C_1, scurtcircuitându-se rezistența R_{p1}. Alunecarea în punctul *b* (s_b) se determină din ecuația lui Kloss, care trebuie să fie verificată de coordonatele acestui punct. Rezultă:

$$M_{p2} = \frac{2M_{max}}{\frac{s_{mp}}{s_b} + \frac{s_b}{s_{mp}}} \qquad (3.3.32)$$

Ținând cont că $s_b = s_c$ se poate determina rezistența de pornire care a mai rămas în circuit R_p' ($R_p' = R_{p2} + R_{p3}$).

Din ecuația lui Koss, verificată de coordonatele punctului *c* ($s = s_c$, $M = M_{p1}$), unde sare punctul de funcționare după închiderea contactorului C_1,

$$M_{p1} = \frac{2M_{max}}{\frac{s_{mp}'}{s_c} + \frac{s_c}{s_{mp}'}} \qquad (3.3.33)$$

se determină s_{mp}' și apoi R_p'. De acum procesul se repetă până se ajunge pe caracteristica mecanică naturală (când rezistența de pornire este scurtcircuitată integral).

Exemplu de calcul

Se determină valorile rezistențelor de pornire, necesare pornirii cu rezistențe înseriate în circuitul rotoric, în cazul utilizării unui motor asincron cu următoarele date nominale:

$P_n = 10$ kW; $U_n = 380$ V; $I_n = 22$ A; $n_n = 1450$ rot/min;
$U_{20} = 315$ V; $I_{2n} = 20,4$ A; $\eta_n = 84$ %;
$\cos\varphi_n = 0,825$;
$\lambda(M_{max}/M_n) = 2,2$; $GD^2 = 0,415$ daNm^2;
$G = 150$ kg.

Momentul rezistiv (corespunzător sarcinii) este egal cu momentul nominal al motorului. Conform relațiilor 3.3.28 și 3.3.29 se adoptă:

$M_{p1} = 0,9\, M_{max}$ și $M_{p2} = 1,2\, M_s$

unde $M_s = M_n = 9550 \cdot P_n/n_n = 9550 \cdot 10/1450 = 65,86$ Nm;

$M_{max} = \lambda M_n = 2,2 \cdot 65,86 = 144,9$ Nm

Deci:

$M_{p1} = 0,9 \cdot 144,9 = 130,4$ Nm și $M_{p2} = 1,2 \cdot 65,86 = 79$ Nm

Din relația 3.3.30 care trebuie satisfăcută, rezultă alunecarea critică la pornire - s_{mp}:

$$M_{p1} = \frac{2M_{max}}{\frac{s_{mp}}{1} + \frac{1}{s_{mp}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s_{mp}^2 - 2\frac{M_{max}}{M_{p1}} s_{mp} + 1 = 0$$

$$s_{mp}^2 - 2 \cdot 144,9/130,4\, s_{mp} + 1 = 0$$

$s_{mp1,2} \approx 1,6$ și $0,63$

Deoarece s_{mp} trebuie să fie mai mare ca 1 (fig. II.3.22), soluția este $s_{mp} = 1,6$.

Utilizând relația 3.3.31 se poate calcula acum rezistența înseriată la pornire cu înfășurarea rotorică:

$$\frac{s_{mp}}{s_m} = \frac{R_2 + R_p}{R_2} \Rightarrow R_p = R_2\left(\frac{s_{mp}}{s_m} - 1\right)$$

unde:

R_2 - (rezistența înfășurării rotorice) se poate calcula cu relația:

$$R_2 = \frac{s_n M_n \Omega}{3I_{2n}^2}$$

în care:

$$s_n = \frac{n_1 - n_n}{n_1} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,033$$

$$\Omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi \cdot 1500}{60} = 157 \text{rad/s}$$

și înlocuind se obține:

$$R_2 = \frac{0,033 \cdot 65,86 \cdot 157}{3 \cdot 20,4^2} \cong 0,276\ \Omega$$

s_m - (alunecarea corespunzătoare momentului maxim) se determină din ecuația lui Kloss care trebuie verificată de punctul de funcționare nominală, pe caracteristica mecanică naturală:

$$M_n = \frac{2M_{max}}{\frac{s_n}{s_m} + \frac{s_m}{s_n}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s_m^2 - 2\frac{M_{max}}{M_n} s_n \cdot s_m + s_n^2 = 0$$

$$s_m^2 - 2 \cdot 144,9/65,86 \cdot 0,033\, s_m + 0,033^2 = 0$$

$s_{m1,2} \approx 0,008$ și $0,138$

Deoarece s_m trebuie să fie mai mare ca s_n (fig. II.3.22), soluția este:

$s_m = 0,138$.

Înlocuind acum valorile obținute din relația de calcul a rezistenței R_p, rezultă:

$$R_p = 0,276\left(\frac{1,6}{0,138} - 1\right) = 2,9\,\Omega$$

Rezistența R_p' care trebuie să rămână în circuit la trecerea din *b* în *c* (fig. II.3.22) se determină din relația 3.3.31 scrisă însă pentru noua alunecare critică - s_{mp}':

$$\frac{s_{mp}'}{s_m} = \frac{R_2 + R_p'}{R_2} \Rightarrow R_p' = R_2\left(\frac{s_{mp}'}{s_m} - 1\right)$$

unde s_{mp}' - se obține din relația 3.3.33:

$$M_{p1} = \frac{2M_{max}}{\frac{s_{mp}'}{s_c} + \frac{s_c}{s_{mp}'}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(s'_{mp}\right)^2 - 2\frac{M_{max}}{M_{p1}} \cdot s_c \cdot s'_{mp} + s_c^2 = 0$$

și $s_c (s_c = s_b)$ din relația 3.3.32:

$$M_{p2} = \frac{2M_{max}}{\frac{s_{mp}}{s_b} + \frac{s_b}{s_{mp}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s_b^2 - 2\frac{M_{max}}{M_{p2}} \cdot s_b \cdot s_{mp} + s_{mp}^2 = 0$$

$s_b^2 - 2 \cdot 144,9 / 79 \cdot 1,6 \cdot s_b + 1,6^2 = 0$

$s_{b1,2} \approx 5,39$ și $0,47$

Soluția, conform fig. II.3.22, este: $s_b = s_c = 0,47$.

Înlocuind în expresia lui s'_{mp}, se obține:

$(s'_{mp})^2 - 2(144,9/130,4) \cdot 0,47\, s'_{mp} + 0,47^2 = 0$

$s'_{mp1,2} \approx 0,75$ și $0,29$.

Deoarece s'_{mp} nu poate să fie mai mic ca s_c (fig. II.3.22), soluția este $s'_{mp} = 0,75$

Rezultă:

$$R'_p = 0,276\left(\frac{0,75}{0,138} - 1\right) = 1,2\ \Omega$$

Rezistența care trebuie scurtcircuitată în treapta întâia este:

$R_{p1} = R_p - R'_p = 2,9 - 1,2 = 1,7\ \Omega$

Repetând procesul de mai sus, dar pentru punctele *d*, *e*, *f* ș.a.m.d, se obține:

- pentru $s_d = s_e$:

$s_d^2 - 2(M_{max}/M_{p2}) s_d \cdot s'_{mp} + (s'_{mp})^2 = 0$

$s_d^2 - 2 \cdot 144,9/79 \cdot 0,75 \cdot s_d + 0,75^2 = 0$

$s_{d1,2} \approx 2,53$ și $0,22$

Soluția este $s_d = s_e = 0,22$

- pentru s''_{mp}:

$(s''_{mp})^2 - 2(M_{max}/M_{p2})\, s_e \cdot s''_{mp} + s_e^2 = 0$

$(s''_{mp})^2 - 2 \cdot 144,9/130,4 \cdot 0,22 \cdot s''_{mp} + 0,22^2 = 0$

$s_{mp1,2} \approx 0,35$ și $0,138$

Soluția este $s''_{mp} = 0,35$

- rezistența R''_p (corespunzătoare funcționării în *e*):

$$R''_p = R_2\left(\frac{s''_{mp}}{s_m} - 1\right) =$$

$$= 0,276\left(\frac{0,35}{0,138} - 1\right) = 0,42\ \Omega$$

- rezistența R_{p2} ce se scurtcircuitează în treapta a doua:

$R_{p2} = R'_p - R''_p = 1,2 - 0,42 = 0,78\ \Omega$

- pentru $s_f = s_g$:

$s_f^2 - 2(M_{max}/M_{p2})\, s_f \cdot s''_{mp} + (s''_{mp})^2 = 0$

$s_f^2 - 2 \cdot 144,9/79 \cdot 0,35\, s_f + 0,35^2 = 0$

$s_{f1,2} \approx 1,18$ și $0,1$

Soluția este $s_f = s_g = 0,1$.

Se observă că alunecarea s_g este mai mică decât alunecarea critică pe caracteristica mecanică naturală s_m și, în această situație, dacă se scurtcircuitează toată rezistența rămasă (R''_p), se intră pe zona stabilă a caracteristicii mecanice naturale.

Rezistența scurtcircuitată în treapta a treia va fi:

$R_{p3} = R''_p = 0,42\ \Omega$

Observație: În cazul în care s_f este mai mare ca s_m calculul se continuă conform procedeului descris (crescând numărul de trepte de pornire) până când se ajunge la o alunecare corespunzătoare momentului M_{p2} mai mică decât s_m.

3.3.3. Pornirea motoarelor sincrone

Deoarece motoarele sincrone nu dezvoltă cuplu electromagnetic sincron decât atunci când turația rotorului este egală cu turația câmpului magnetic învârtitor, ele nu au cuplul de pornire de tip sincron și nu pot fi pornite direct, decât dacă se utilizează convertoare de frecvență. Convertoarele de frecvență, prin creșterea progresivă a frecvenței (de la valoarea zero), pot determina la motoarele sincrone obținerea de cupluri de pornire sincrone. Această metodă de pornire (sincronă) este folosită rar (prețul convertoarelor care modifică frecvența de la zero este ridicat).

O altă metodă de pornire a motoarelor sincrone este pornirea cu motor auxiliar, motor care trebuie să accelereze sistemul până la turația de sincronism, când motorul sincron se cuplează la rețea. Și această metodă este folosită destul de rar.

Cea mai utilizată metodă de pornire a motoarelor sincrone este pornirea în asincron. În acest caz, rotorul este prevăzut cu o înfășurare suplimentară, pentru pornire, de tip colivie. Înfășurarea statorică a motorului sincron se conectează la rețeaua trifazată, iar cea rotorică, pe o rezistență. Cuplul de pornire, de tip asincron, ia naștere la fel ca la motorul asincron, prin interacțiunea câmpului magnetic învârtitor cu curenții din înfășurarea tip colivie. Dacă cuplul de pornire este mai mare ca cel rezistent, atunci motorul pornește. Când turația ajunge la valori de 95-97 % din turația de sincronism, înfășurarea rotorică se deconectează de pe rezistență și se conectează la sursa de curent continuu. Urmează, după un interval scurt de timp, stabilirea turației la valoarea de sincronism.

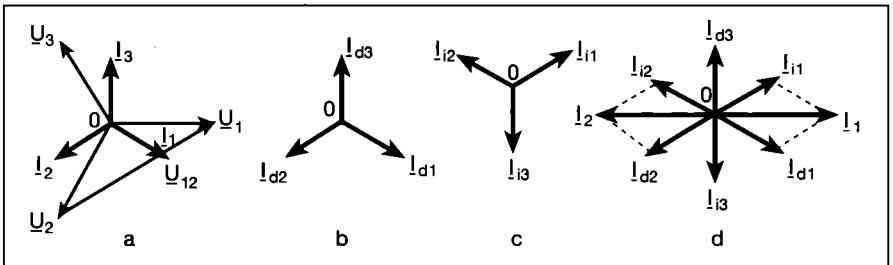


Fig. II.3.23. Diagramele fazoriale ale curenților motorului asincron trifazat alimentat în două faze (faza 3 întreruptă): *a - situația inițială (motorul alimentat pe trei faze); b - sistemul curenților de succesiune directă; c - sistemul curenților de succesiune inversă; d - compensarea curenților la motorul alimentat în două faze (tensiunea ajungând la U_{12}).*

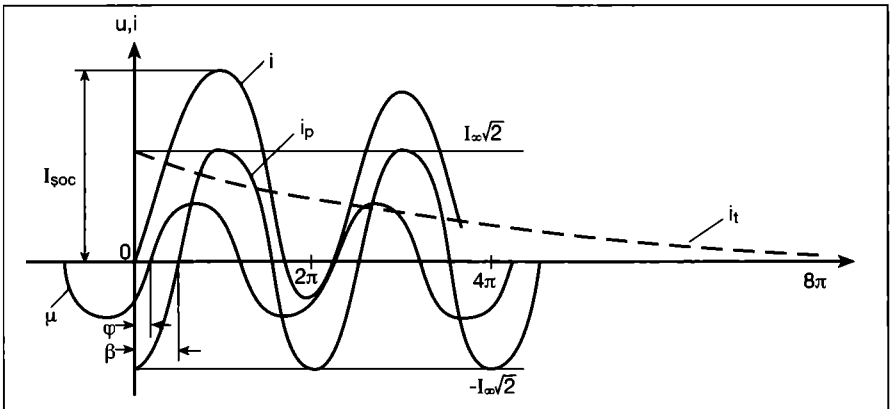


Fig. II.3.25. Variațiile componentelor curentului de scurtcircuit monofazat și a curentului total.

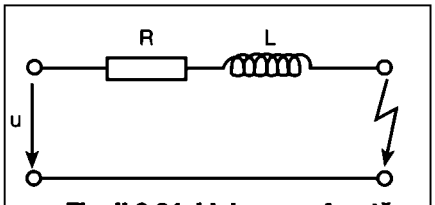


Fig. II.3.24. Linie monofazată scurtcircuitată.

La pornirea în asincron, șocul de curent poate ajunge până la 9 I_n. Ca urmare, pornirea prin conectare directă se poate face numai când pierderea de tensiune pe rețeaua de alimentare se încadrează în domeniul valorilor admisibile. În caz contrar, limitarea curentului de pornire se face utilizând bobine de reactanță sau autotransformatoare. Soluția mai avantajoasă (prin prisma cuplului de pornire) este cea cu autotransformatoare de pornire, dar ea este mai scumpă.

3.4. Funcționarea motoarelor asincrone trifazate în două faze

Se produce atunci când una din cele trei faze ale alimentării se întrerupe. Acum, sistemul trifazat simetric de curenți de secvență directă se înlocuiește cu două sisteme trifazate simetrice, unul de secvență directă și altul de secvență inversă, iar intensitatea și fazele acestor curenți se determină ușor, din condiția ca pe faza întreruptă, suma curenților să fie nulă (ceea ce înseamnă că, pe faza întreruptă, curentul din secvența inversă este egal și de sens contrar cu cel din secvența directă - fig. II.3.23).

Deci:

$\underline{I}_3 = 0$ și $\underline{I}_1 = \underline{I}_2 = \sqrt{3}\ \underline{I}_{dl}$ (3.4.1)

Motorul asincron trifazat, la funcționarea în două faze, absoarbe de la rețeaua de alimentare un curent care este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decât la funcționarea normală. Acest curent, în cazul motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit, de putere mare, duce la încălzirea rotorului și, întrucât căldura dezvoltată în rotor se evacuează în mare măsură prin stator, există pericolul supraîncălzirii înfășurărilor statorului. Totodată are loc și încălzirea conductelor de alimentare. Protecția se realizează cu relee termice prevăzute cu mecanism de protecție la mers în două faze.

În timp, au fost întreprinse numeroase studii asupra funcționării în două faze a motoarelor asincrone trifazate. Ele arată că la puteri ale motoarelor sub 15 kW, temperaturile în înfășurarea statorică sunt sub valoarea nominală, în schimb, la puteri ale motoarelor peste 40 kW, temperaturile în înfășurarea statorică depășesc întotdeauna temperatura nominală.

3.5. Funcționarea în regim de scurtcircuit

Scurtcircuitul reprezintă un regim anormal de funcționare a instalațiilor electrice și este întâlnit atunci când, între două puncte între care există o diferență de potențial, se realizează o legătură electrică prin intermediul unei impedanțe de valoare neglijabilă. În aceste condiții, curentul din circuit are o intensitate de multe ori mai mare decât a curentului nominal, iar solicitările termice și dinamice (ce depind de pătratul curentului) sunt foarte mari.

3.5.1. Scurtcircuitul unui circuit monofazat

Scurtcircuitarea unei linii monofazate alimentate cu o tensiune sinusoidală de forma:

$$u = U\sqrt{2}\ sin(\omega t + \varphi) \qquad (3.5.1)$$

conduce la o ecuație a tensiunilor (pentru schema din fig. II.3.24) care are expresia:

$$u = R_l\, i + L_l\,(di/dt) \qquad (3.5.2)$$

unde:

R_l - este rezistența liniei,

L_l - inductivitatea liniei.

Soluția ecuației 3.5.2 este:

$$i = i_p + i_t \qquad (3.5.3)$$

unde:

i_p - este componenta permanentă a curenților,

i_t - componenta tranzitorie.

Expresiile componentelor sunt:

$$i_p = \frac{U\sqrt{2}\ sin(\omega t + \varphi - \beta)}{Z_l} \qquad (3.5.4)$$

și

$$i_t = k \cdot e^{-\frac{t}{T}} \qquad (3.5.5)$$

unde:

$$Z_l = \sqrt{R_l^2 + X_l^2};\ X_l = \omega L \qquad (3.5.6)$$

$$\beta = arctg\frac{X_l}{R_l} \qquad (3.5.7)$$

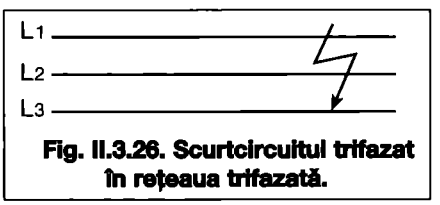


Fig. II.3.26. Scurtcircuitul trifazat în rețeaua trifazată.

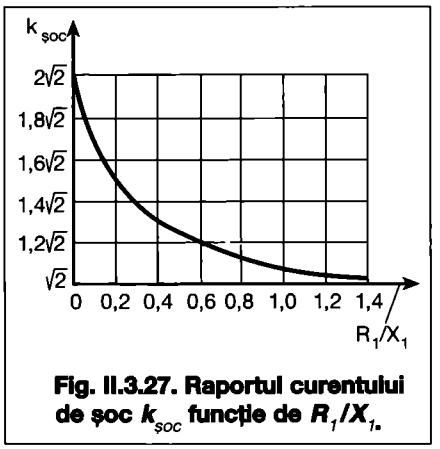


Fig. II.3.27. Raportul curentului de șoc k_{soc} funcție de R_1/X_1.

$$k = -\frac{U\sqrt{2}\ sin(\varphi - \beta)}{Z_l} \qquad (3.5.8)$$

și

$$T = \frac{L_l}{R_l} \qquad (3.5.9)$$

în care:

k - este constanta de integrare,

T - constanta de timp a circuitului.

Variațiile componentelor curentului de scurtcircuit și a curentului total:

$$i = \frac{U\sqrt{2}}{Z_l}\left[sin(\omega t + \varphi - \beta) - sin(\varphi - \beta)\cdot e^{-\frac{t}{T}}\right] = I_\infty\sqrt{2}\left[sin(\omega t + \varphi - \beta) - sin(\varphi - \beta)\cdot e^{-\frac{t}{T}}\right] \qquad (3.5.10)$$

sunt prezentate în fig. II.3.25.

Dacă $X_l >> R_l$, se poate considera $\beta_1 \approx \pi/2$; acum relația 3.5.10 devine:

$$i = I_\infty\sqrt{2}\left[e^{-\frac{t}{T}}\cos\varphi - \cos(\omega t + \varphi)\right] \qquad (3.5.11)$$

iar pentru o constantă de timp T foarte mare:

$$i = I_\infty\sqrt{2}\left[\cos\varphi - \cos(\omega t + \varphi)\right] \qquad (3.5.12)$$

Analizând expresia 3.5.12 se poate constata că valoarea maximă a curentului total se atinge pentru $\cos(\omega t + \varphi) = -1$, adică:

$$i_{max} = i_{soc} = I_\infty\sqrt{2}\left[1 + |\cos\varphi|\right] \qquad (3.5.13)$$

și pentru $\varphi = 0$ sau π

$$i_{max} = i_{soc} = 2\sqrt{2}I_\infty \qquad (3.5.14)$$

Deci, în cazul când scurtcircuitul se produce în momentul trecerii tensiunii prin zero, valoarea maximă a curentului de scurtcircuit este egală cu de două ori amplitudinea componentei permanente.

Definind timpul fictiv ca fiind timpul în care curentul de intensitate constantă I_∞ circulând prin conductor, determină de-

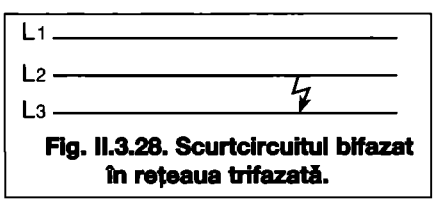


Fig. II.3.28. Scurtcircuitul bifazat în rețeaua trifazată.

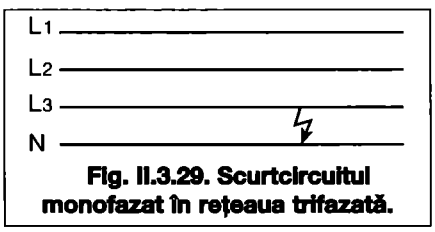


Fig. II.3.29. Scurtcircuitul monofazat în rețeaua trifazată.

gajarea aceleiași cantități de căldură ca și curentul real de scurtcircuit, atunci:

$$t_f = \frac{1}{I_\infty^2}\int_0^t i^2 dt \qquad (3.5.15)$$

și înlocuind 3.5.11 în 3.5.15, prelucrând și ținând cont că $t >> T$ (exemplul: $t = 0{,}1$ s și $T < 0{,}05$ s), rezultă:

$$t_f = 2\cos^2\varphi \int_0^t e^{-\frac{2t}{T}} dt - 4\cos\varphi \cdot$$

$$\cdot \int_0^t \cos(\omega t + \varphi) e^{-\frac{t}{T}} dt +$$

$$+2\int_0^t \cos^2(\omega t + \varphi) dt \cong$$

$$\cong T\cos^2\varphi + 0 + t \cong t \qquad (3.5.16)$$

Rezultă că, în rețelele de joasă tensiune, componenta aperiodică a curentului de scurtcircuit nu contribuie la creșterea temperaturii.

3.5.2. Scurtcircuitul unui circuit trifazat

În cazul unui scurtcircuit trifazat (fig. II 3.26) se observă că potențialul în punctul de defect este egal cu zero și dacă impedanța unei faze până la locul de defect este Z_{sc}, atunci curentul de scurtcircuit se obține cu relația:

$$I_{sc}^{(3)} = U_n / Z_{sc} \qquad (3.5.17)$$

unde:

U_n - este tensiunea de fază aplicată la capetele liniei de alimentare,

$I_{sc}^{(3)}$ - este curentul de scurtcircuit prin oricare fază din cele trei scurtcircuitate.

Scurtcircuitul trifazat este cel mai periculos (a se vedea 3.5.27) și se observă că studiul efectuat în paragraful 3.5.1 în cazul scurtcircuitului monofazat este valabil și în acest caz, pentru fiecare fază în parte. Ținând cont că cele trei tensiuni aplicate sunt defazate între ele cu $2\pi/3$ radiani, atunci în orice moment al scurtcircuitului una din tensiunile de fază este nulă sau foarte apropiată ca valoare de zero și, ca urmare, curentul de șoc în această fază va avea o intensitate foarte mare.

Relațiile prezentate până acum sunt valabile dacă, în cazul unui scurtcircuit, tensiunea aplicată la capetele liniei de alimentare rămâne neschimbată ca valoare. Această situație este întâlnită în practică atunci când scurtcircuitele se produc în puncte suficient de îndepărtate de generatoarele sincrone ale sistemului trifazat de alimentare cu energie electrică, adică în rețelele de joasă tensiune, iar parametrii circuitului pot fi considerați constanți. În acest caz, intensitățile curenților de scurtcircuit determină la generatoare valori ale curenților în domeniul celor de sarcină normală.

Raportul curentului de șoc $k_{soc} = i_{soc}/I_\infty$ se poate determina ținând cont de relațiile 3.5.11 și 3.5.9. Dacă se pun condițiile $\varphi = 0$ și $\omega t = \pi$, rezultă:

$$T = \frac{L_1}{R_1} = \frac{1}{\omega\frac{R_1}{X_1}} =$$

$$= \frac{1}{\omega} tg\beta = \frac{1}{\omega}\frac{\sqrt{1-\cos^2\beta}}{\cos\beta} \qquad (3.5.18)$$

$$k_{soc} = \frac{i_{soc}}{I_\infty} = \sqrt{2}\left(1 + e^{-\frac{\pi R_1}{X_1}}\right) =$$

$$= \sqrt{2}\left(1 + e^{-\frac{\pi\cos\beta}{\sqrt{1-\cos^2\beta}}}\right) \qquad (3.5.19)$$

Raportul curentului de șoc este cuprins între $\sqrt{2}$ și $2\sqrt{2}$ și, în funcție de raportul R_1/X_1, conform relației (3.5.19), este prezentat în fig. II.3.27.

În cazul rețelelor de joasă tensiune raportul curentului de șoc k_{soc} are valori de circa $(1{,}2 \ldots 1{,}3)\sqrt{2}$.

În general, datorită faptului că între punctul de defect și sistemul energetic, luat ca sursă de alimentare cu energie electrică, există diferite tensiuni, pentru calculul parametrilor circuitului echivalent se folosesc mărimile raportate la tensiunea de bază (de regulă, egală cu cea a zonei în care are loc scurtcircuitul). Notând cu k raportul dintre tensiunea de bază U și tensiunea U_i a liniei „i", adică:

$$k = U/U_i \qquad (3.5.20)$$

atunci parametrii raportați (notați cu indicele ') vor fi:

$$R_i' = R_i \cdot k^2 \text{ și } X_i' = X_i \cdot k^2 \qquad (3.5.21)$$

iar parametrii de scurtcircuit se vor calcula cu:

$$R_{sc} = \sum R_i'; \quad X_{sc} = \sum X_i' \text{ și}$$

$$Z_{sc} = \sqrt{R_{sc}^2 + X_{sc}^2} \qquad (3.5.22)$$

Suma se referă la toate elementele intercalate între sursa de alimentare și punctul de defect (linii aeriene, transformatoare, bobine, cabluri etc.).

În calcule se ține cont de conservarea energiilor activă, reactivă și aparentă în cazul raportărilor, adică:

$$R_i \cdot I_t^2 = R_i' \cdot (I_i')^2$$

$$X_i \cdot I_t^2 = X_i' \cdot (I_i')^2 \qquad (3.5.23)$$

$$U_i \cdot I_i = U \cdot I_i'$$

de puterea de scurtcircuit a sistemului în anumite puncte:

$S_{sc} = \sqrt{3} U_n I_{sc}^{(3)}$,

și de factorul de putere la scurtcircuit - $\cos\varphi_{sc}$.

Cu ajutorul acestor date se poate calcula impedanța, rezistența și reactanța de scurtcircuit pentru toate elementele intercalate între generatoare și punctul cu puterea de scurtcircuit dată:

$$Z_{sc} = \frac{U_n^2}{S_{sc}}$$

$$R_{sc} = Z_{sc} \cdot \cos\varphi_{sc}$$

$$X_{sc} = Z_{sc} \cdot \sin\varphi_{sc} \qquad (3.5.24)$$

urmând ca pentru determinarea parametrilor totali de scurtcircuit să se adune, la valorile obținute cu relațiile 3.5.24, valorile parametrilor raportați ai elementelor cuprinse între punctul cu putere de scurtcircuit dată și punctul de scurtcircuit.

Particularizări. În cazul unui scurtcircuit bifazat într-o rețea bifazată (fig. II. 3.28) curentul prin una din fazele scurtcircuitate este:

$$I_{sc}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}\cdot U_n}{2Z_{sc}} \qquad (3.5.25)$$

iar în cazul unui scurtcircuit monofazat într-o rețea trifazată (fig. II.3.29) curentul prin faza respectivă este:

$$I_{sc}^{(1)} = \frac{U_n}{Z_{sc} + Z_0} \qquad (3.5.26)$$

unde:

Z_0 - este impedanța solului sau a conductorului neutru.

Se observă că:

$$I_{sc}^{(3)} > I_{sc}^{(2)} > I_{sc}^{(1)} \qquad (3.5.27)$$

Exemplu de calcul: determinarea valorilor intensităților curenților de scurtcircuit în punctele k_1 și k_2 ale rețelei electrice din fig. II.3.30 a.

În fig. II.3.30 b s-a realizat schema electrică echivalentă cu valori raportate ale parametrilor elementelor rețelei (tensiunea de bază fiind $U = 0{,}4$ kV) și s-au calculat valorile raportate ale parametrilor după cum urmează:

1. Sistemul:

$$Z_1 = \frac{U_n^2}{S_{sc}} = \frac{\left(10\cdot 10^3\right)^2}{300\cdot 10^6} = 0{,}338\ \Omega$$

$$Z_1' = Z_1 \cdot k_2 = 0{,}333 \cdot 0{,}0016 = 0{,}5\ \text{m}\Omega$$

unde:

$$k^2 = \left(\frac{U}{U_n}\right)^2 = \left(\frac{0{,}4}{10}\right)^2 = 0{,}0016$$

Deci:

$$\begin{cases} R_1' \cong 0 \\ X_1' \cong Z_1' = 0{,}5\ \text{m}\Omega \end{cases}$$

2. Linia electrică aeriană de 10 kV:

$$\left.\begin{aligned} R_2 &= R_0 \cdot l = 0,54 \cdot 2 = 1,08\ \Omega \\ X_2 &= X_0 \cdot l = 0,308 \cdot 2 = 0,616\ \Omega \end{aligned}\right\}$$

Rezultă mărimile raportate:

$$\begin{cases} R_2' = R_2 \cdot k^2 = 1,08 \cdot 0,0016 \cong \\ \cong 1,73\ \text{m}\Omega \\ X_2' = X_2 \cdot k^2 = 0,616 \cdot 0,0016 \cong \\ \cong 0,99\ \text{m}\Omega \end{cases}$$

3. Transformatorul de 10/0,4 kV și 1000 kVA:

$R_3 = P_{sc}/3I_{1n}^2$ (de la încercarea în scurt-circuit a transformatorului), unde I_{1n} este curentul absorbit de transformator, în înfășurarea primară, la sarcină nominală:

$$S_n = U_n \cdot I_{1n} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{1n} = \frac{S_n}{U_n} = \frac{1000 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3} = 100\ \text{A}$$

Rezultă:

$$R_3 = \frac{1350}{3 \cdot 100^2} = 0,045\ \Omega$$

$$Z_3 = \frac{U_{sc}}{I_{1n}} = \frac{\frac{u_{sc} \cdot U_{1n}}{100}}{I_{1n}} =$$

$$= \frac{\frac{6}{100} \cdot 10 \cdot 10^3}{100} = 6\ \Omega$$

iar

$$X_3 = \sqrt{Z_3^2 - R_3^2} \cong 6\ \Omega$$

Mărimile raportate vor fi:

$$\begin{cases} R_3' = R_3 \cdot k^2 = 0,045 \cdot 0,0016 = \\ = 0,07\ \text{m}\Omega \\ X_3' = X_3 \cdot k^2 = 6 \cdot 0,0016 = \\ = 9,6\ \text{m}\Omega \end{cases}$$

4. Întreruptorul:

$R_4' = R_4 = 0,12\ \text{m}\Omega$

$X_4' = X_4 = 0,094\ \text{m}\Omega$

5. Reductorul de curent:

$R_5' = R_5 = 0,05\ \text{m}\Omega$

$X_5' = X_5 = 0,04\ \text{m}\Omega$

6. Linia electrică în cablu de *0,4* kV:

$$R_6' = R_6 = \rho \frac{l}{s} = \frac{1}{34} \cdot \frac{50}{70} = 21\ \text{m}\Omega$$

$X_6' = X_6 = X_0 \cdot l = 0,06 \cdot 0,05 = 3\ \text{m}\Omega$

7. Întreruptorul:

$R_7' = R_7 = 0,12\ \text{m}\Omega$

$X_7' = X_7 = 0,094\ \text{m}\Omega$

8. Aportul motorului asincron M la curentul de șoc:

$I_{Mas} = 6,5 \cdot I_n = 6,5 \cdot 108 = 702$ A

Pentru scurtcircuitul produs în punctul K_1 rezultă:

$$R_{sc1} = \sum_{i=1}^{3} R_i' = R_1' + R_2' + R_3' =$$

$$= 0 + 1,73 + 0,07 = 1,8\ \text{m}\Omega$$

$$X_{sc1} = \sum_{i=1}^{3} X_i' = X_1' + X_2' + X_3' =$$

$$= 0,5 + 0,99 + 9,6 = 11,09\ \text{m}\Omega$$

$$Z_{sc1} = \sqrt{R_{sc1}^2 + X_{sc1}^2} =$$

$$= \sqrt{1,8^2 + 11,09^2} \cong 11,24\ \text{m}\Omega$$

și curentul de scurtcircuit:

$$I_{sc1} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{sc1}} =$$

$$= \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 11,24 \cdot 10^{-3}} = 20,55\ \text{kA}$$

Curentul de șoc se poate aprecia ca:

$i_{soc1} = 1,3\sqrt{2} = 20,55 = 37,78$ kA

Pentru scurtcircuitul produs în punctul K_2 rezultă:

$$R_{sc} = \sum_{i=1}^{7} R_i' = 0 + 1,73 + 0,07 + 0,12 +$$

$$+ 0,05 + 21 + 0,12 = 23,09\ \text{m}\Omega$$

$$X_{sc} = \sum_{i=1}^{7} X_i' = 0,5 + 0,99 + 9,6 + 0,094 +$$

$$+ 0,04 + 3 + 0,094 \cong 14,32\ \text{m}\Omega$$

$$Z_{sc2} = \sqrt{R_{sc}^2 + X_{sc}^2} =$$

$$= \sqrt{23,09^2 + 14,32^2} = 27,17\ \text{m}\Omega$$

și curentul de scurtcircuit:

$$I_{sc2} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{sc2}} =$$

$$= \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 27,17 \cdot 10^{-3}} \cong 8,51\ \text{kA}$$

Dacă la curentul de șoc se ține cont și de curentul furnizat de motorul asincron, atunci:

$i_{soc2} = 1,3\sqrt{2} \cdot 8,51 + 0,7 \cong 16,3$ kA

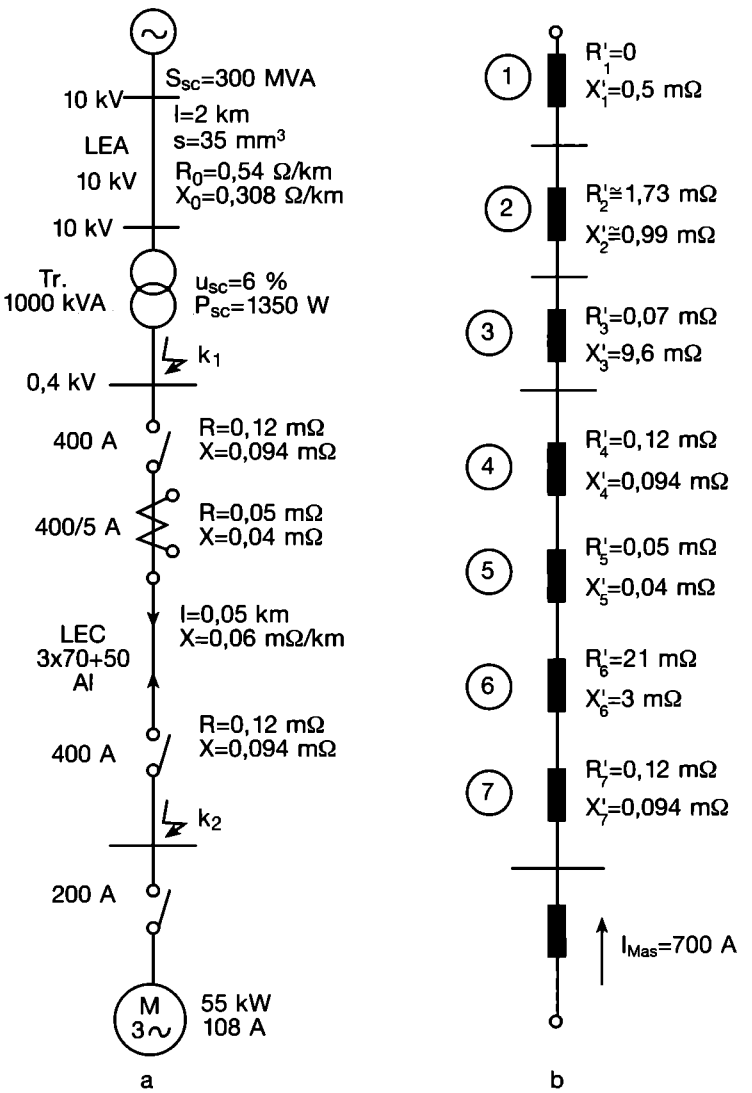


Fig. II.3.30. Rețeaua electrică și schema electrică echivalentă pentru exemplul de calcul.

II. Instalații electrice

Capitolul 4
Aparate electrice

4.1. Aparate electrice de protecție

Sesizează modificarea în timp a anumitor mărimi și atunci când acestea iau valori periculoase, acționează în vederea preîntâmpinării sau limitării avariei care s-ar putea produce.

4.1.1. Relee termice

Sunt aparate destinate protecției împotriva suprasarcinilor de durată. Principiul lor de funcționare se bazează pe proprietatea bimetalelor de a se deforma atunci când temperatura acestora se modifică (fig. II.4.1). Bimetalul este o bandă realizată din 2 plăci metalice îmbinate prin sudare, lipire sau nituire. Cele 2 bimetale au coeficienți de dilatare termică diferiți. La încălzire bimetalul se curbează și întrerupe circuitul de alimentare a instalației protejate. Întreruperea se realizează prin cuplarea releului termic cu un echipament de întrerupere - de exemplu, un contactor. Astfel, releul termic întrerupe circuitul bobinei contactorului (sau al altui echipament de întrerupere) care la rândul său întrerupe circuitul de alimentare a receptorului pe care îl protejează. În acest fel bimetalul releului termic întrerupe curenți de valoare mică, ce trec prin bobina echipamentului de întrerupere.

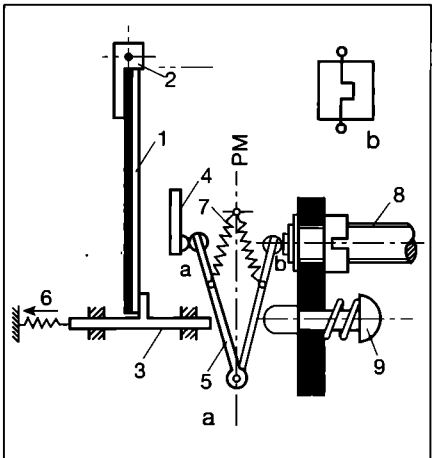


Fig. II.4.1 Releu termic cu rearmare:
a - principiul de construcție;
b - simbolul releului termic;
1 - bimetal; 2 - piesă de încastrare; 3 - tijă; 4 - contact fix; 5 - contact mobil; 6 - resort tensionat; 7 - resort comprimat; 8 - opritor; 9- buton pentru rearmare; PM - punctul mort.

Încălzirea bimetalului se face treptat, în timp, în funcție de sarcina și suprasarcina circuitului supravegheat. Pentru ca depărtarea contactului mobil, de cel fix (fig. II.4.1) să nu se facă lent, pentru a nu se produce arc electric ce ar putea duce la sudarea contactelor, releele termice sunt echipate cu dispozitive de acționare în salt.

Releele termice pot fi cu sau fără rearmare, adică prevăzute sau lipsite de dispozitivul de blocare a reanclașării. În cazul lipsei dispozitivului de blocare, instalația protejată funcționează nestabil, fiind succesiv conectată și deconectată.

Reanclașarea se realizează manual sau automat.

Releele termice pot fi prevăzute cu o bandă metalică de compensare termică ce permite declanșarea la valoarea impusă a intensității din circuit, independent de temperatura ambiantă. Aceasta este eficace între -20 și + 50°C.

Instalațiile trifazate sunt protejate prin intermediul unui bloc de relee termice, adică al unui dispozitiv compus din 3 bimetale, montate fiecare pe câte una dintre faze care, prin intermediul unei tije comune, acționează un sistem de contacte unic.

Blocurile de relee termice trifazate se execută cu sau fără dispozitiv de acționare la mersul în două faze. Dispozitivul constă în aceea că, la lipsa deformării bimetalului după una din faze, săgeata rezultată din deformarea celorlalte două bimetale este mult amplificată, astfel încât circuitul de comandă să fie acționat într-un timp mult mai scurt. Releele termice cu astfel de dispozitive sunt utilizate, în special, la protecția la suprasarcină a motoarelor trifazate asincrone, pentru a se evita funcționarea în 2 faze a acestora.

Încălzirea bimetalelor unui releu termic se poate face:

- *direct,* atunci când benzile bimetalice se află în circuitul de supravegheat și sunt parcurse de întreg curentul sau de o parte a acestuia atunci când se utilizează un șunt;
- *indirect,* atunci când benzile bimetalice sunt încălzite prin conducție și/sau radiație de curentul supravegheat;
- *semidirect (mixt),* atunci când benzile bimetalice sunt încălzite simultan prin procedeele de mai sus; bimetalele se află în serie sau în paralel cu o rezistență de încălzire;
- *cu reductor de curent,* atunci când curenții de supravegheat au valori mari și nici una din metodele de mai sus nu satisface. Benzile bimetalice se conectează în secundarele reductorului de curent.

În tabelul II.4.1 sunt indicate diferitele moduri de încălzire în funcție de valoarea curentului de supravegheat.

Caracteristica unui releu termic, numită caracteristică de declanșare, exprimă dependența dintre timpul t de declanșare și raportul I/I_{Rt}, unde I/I_{Rt} este valoarea reglată a curentului.

Săgeata elementului bimetalic (f) depinde liniar de temperatura acestuia, astfel că variația în timp a acesteia va fi

$$f = \frac{k \cdot l^2}{d} \theta_f \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \qquad (4.1.1)$$

în cazul încălzirii de la temperatura mediului ambiant ($\theta_i = 0$; cap. 2) unde: l și d sunt lungimea și grosimea elementului bimetalic, iar k o constantă ce ține de construcția releului.

Substituind pe θ_f rezultă:

$$t = T \ln \frac{1}{1 - \left(\frac{I_{Rt}}{I}\right)^2} \qquad (4.1.2)$$

unde:

$$I_{Rt} = \sqrt{\frac{k \cdot A \cdot d \cdot f}{k \cdot l^2 \cdot R}} \qquad (4.1.3)$$

I_{Rt} - este curentul de reglare a elementului bimetalic;
T - constanta de timp a acestuia;
k - coeficientul de schimb de căldură;

Tabelul II.4.1 Moduri de încălzire în funcție de valoarea curentului de supravegheat

Curentul [A] / Modul de încălzire	1	2	5	10	15	20	25	40	60	100	200	400
Indirectă prin:												
- înfășurare	x	x	x	x								
- radiație	x	x	x	x	x	x	x					
Semidirectă		x	x	x	x	x	x					
Directă:												
- în serie,		x	x	x	x	x	x					
- în paralel,				x	x	x	x	x	x	x	x	
- cu șunt								x	x	x	x	
Cu reductor de curent									x	x	x	x

A - suprafața de schimb de căldură.

În fig. II.4.2 se prezintă caracteristica de declanșare a unui releu termic trifazat.

Valoarea maximă a curentului pentru care este destinat să funcționeze un releu termic se numește curent de serviciu (I_s). Curentul de reglare I_{Rt} se alege, de regulă, în limitele (0,6...1) I_s.

4.1.2. Relee cu termistoare

Termistoarele sunt traductoare electrice de temperatură a căror rezistență electrică variază brusc la o anumită temperatură. În protecția la suprasarcină a instalațiilor electrice, cele mai utilizate termistoare sunt cele de tip PTC (cu coeficient de temperatură pozitiv), a căror rezistență electrică crește brusc (fig. II.4.3) la o anumită temperatură (τ_n). Acestea sunt realizate din titanați de tip ceramic cu însușiri de semiconductor și caracter feroelectric.

Temperatura în jurul căreia se produce variația rezistenței se numește temperatură nominală (τ_n). Prin modificarea compoziției se realizează o gamă largă de termistoare, cu temperaturi nominale între 60 și 180 °C.

Pentru utilizarea în practică, termistorul se realizează sub forma unei pastile ceramice la capetele a 2 conducte terminale. Termistorul se introduce în zona interesată, între conductoarele înfășurării a cărei temperatură se supraveghează.

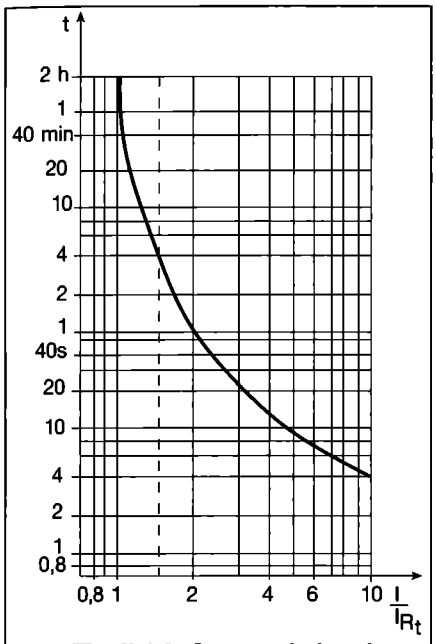


Fig. II.4.2. Caracteristica de declanșare a unui releu termic trifazat.

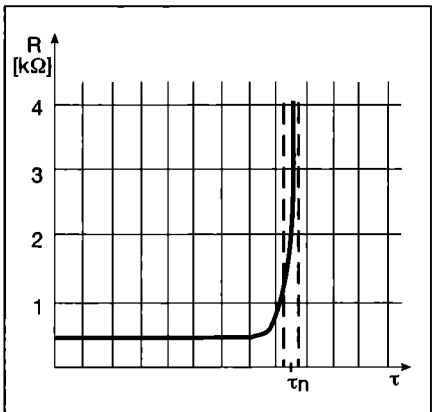


Fig. II.4.3 Caracteristica $R = f(\tau)$ a termistorului.

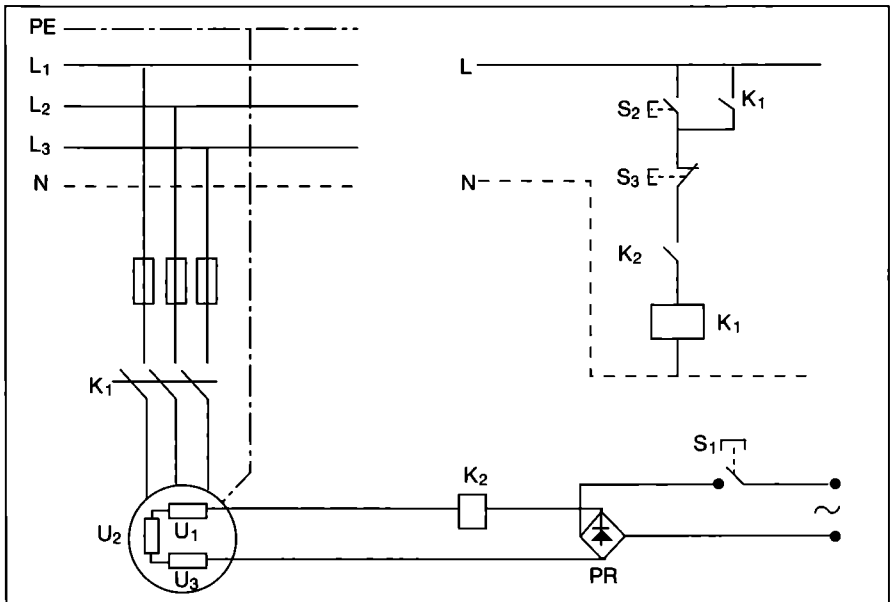


Fig. II.4.4. Schema de principiu de montare a termistoarelor pentru protecția la suprasarcină a motoarelor:

U_1, U_2, U_3 - termistoare montate în înfășurările statorice, pe cele trei faze; PR - punte redresoare; S_1 - buton de punere în funcțiune a PR; K_1 - contactorul de acționare a motorului; K_2 - contactor de comandă în curent continuu; S_2, S_3 butoane de pornit și oprit ale motorului.

Între temperatura înfășurării și cea a termistorului există un decalaj. Intervalul de timp necesar termistorului pentru a atinge temperatura înfășurării se numește constantă de transfer și are valori de 0,1...4 s.

Termistoarele se folosesc pentru protecția motoarelor de putere mare, pentru controlul direct al temperaturii înfășurării statorului.

Se recomandă folosirea termistoarelor în curent continuu în câmpuri electrice cu o intensitate mai mică de 1,5 V/mm.

Termistoarele sunt integrate în scheme de comandă automată, ca în fig. II.4.4.

Cu butonul (cu reținere) S_1 se pune în funcțiune puntea redresoare PR ce asigură alimentarea în curent continuu a celor 3 termistoare plasate în înfășurările statorului motorului. Acestea sunt legate în serie cu un contactor de comandă K_2. Astfel contactul K_2, normal deschis, din circuitul de comandă a motorului, se închide. Numai după aceste manevre motorul poate fi pus în funcțiune prin butonul S_1: bobina contactorului principal K_1 este pusă sub tensiune. Aceasta acționează contactele principale K_1 și motorul este alimentat; de asemenea, contactul secundar de automenținere, K_1, pentru a putea fi eliberat butonul S_1. Dacă unul din termistoare sesizează atingerea temperaturii nominale (datorită suprasarcinii), rezistența lui crește foarte mult, astfel încât contactorul K_2 își eliberează armătura. Aceasta are drept consecință deschiderea contactului K_2 din circuitul bobinei contactorului K_1, astfel că și contactorul K_1 este scos din funcțiune și motorul se oprește.

4.1.3. Relee electromagnetice

Releele electromagnetice sunt aparate destinate protecției împotriva supracurenților foarte mari, adică a curenților

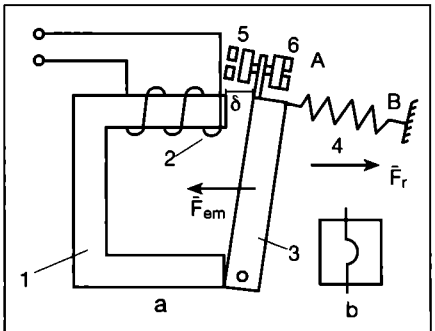


Fig. II.4.5. Releu electromagnetic:
a - principiul de construcție a unui releu electromagnetic; b - simbolul releului electromagnetic;
δ - întrefier; 1 - miez magnetic; 2 - bobină; 3 - armătură mobilă; 4 - resort; 5 - contacte normal deschise; 6 - contacte normal închise.

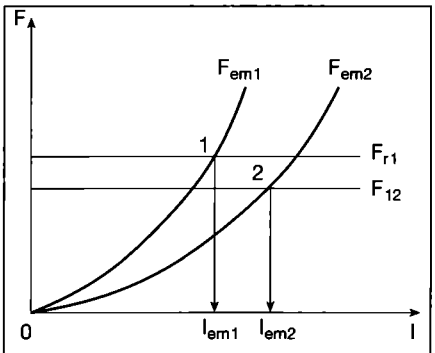


Fig. II.4.6. Modificarea curentului de reglare I_{em} prin modificarea întrefierului inițial de la δ_1 la $\delta_2 > \delta_1$.

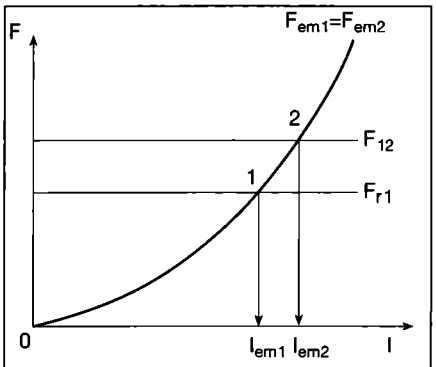


Fig. II.4.7. Modificarea curentului de reglare I_{em} prin modificarea săgeții resortului de la Δ_1 la $\Delta_2 > \Delta_1$.

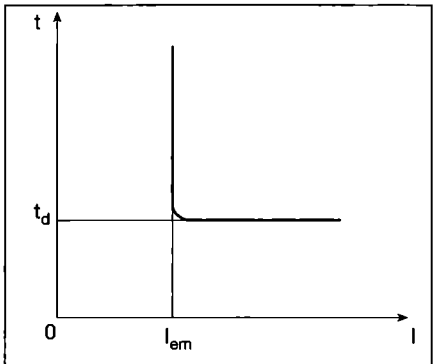


Fig. II.4.8. Caracteristica t = f(I) a releelor electromagnetice cu temporizare independentă de curent.

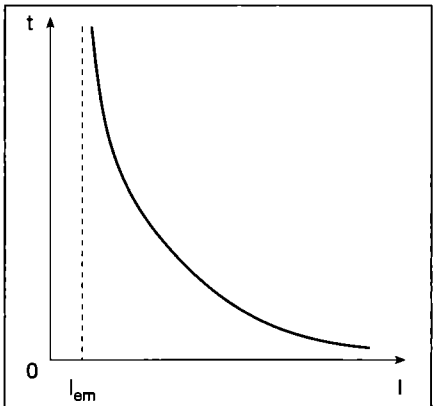


Fig. II.4.9. Caracteristica de declanșare a releului electromagnetic cu temporizare dependentă de curent.

de scurtcircuit.

Releele electromagnetice au ca element constructiv principal un electromagnet (fig. II.4.5). Bobina electromagnetului este traversată de curentul supravegheat. Armătura electromagnetului este reținută în poziția depărtată de un resort. Simbolul este prezentat în fig. II.4.5 b.

Asupra armăturii mobile acționează două forțe antagoniste: forța dezvoltată de resort (F_r) și forța electromagnetică (F_{em}). Acestea sunt date de relațiile:

$$\left.\begin{aligned} F_r &= k_r\left(\Delta - \delta\right) \\ F_{em} &= k_{em}\frac{I^2}{\delta^2} \end{aligned}\right\} \qquad (4.1.4)$$

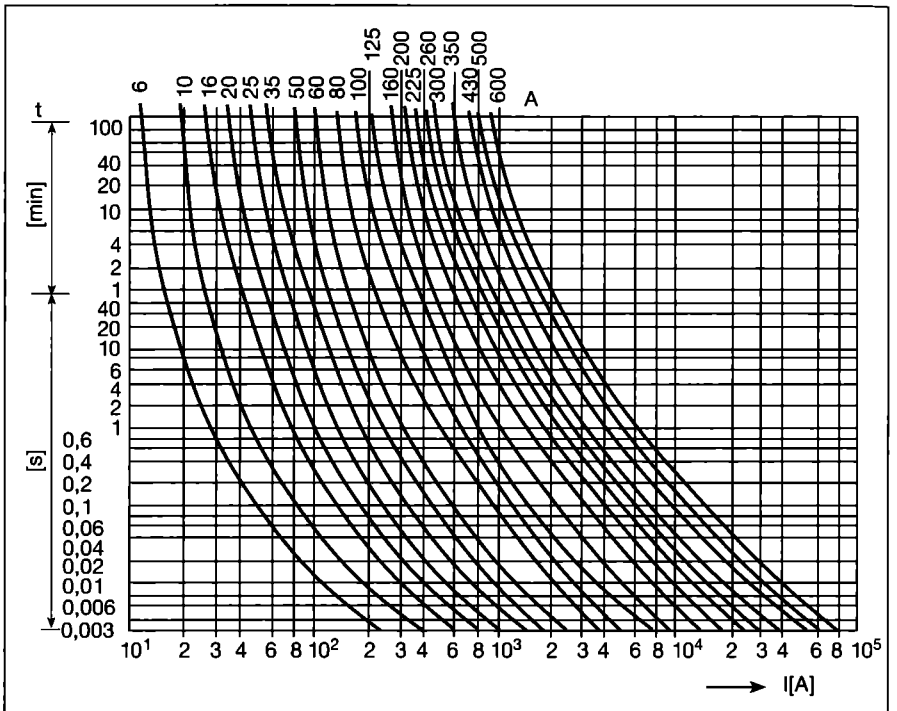


Fig. II.4.10. Caracteristicile de protecție la suprasarcină ale unei serii de siguranțe rapide.

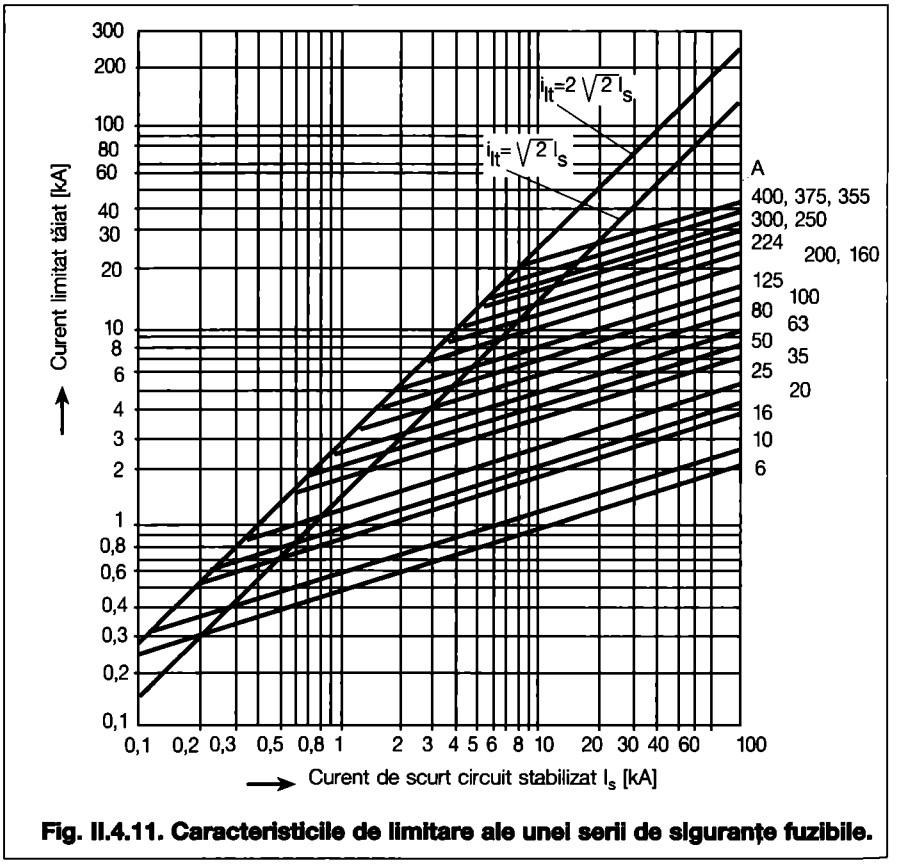


Fig. II.4.11. Caracteristicile de limitare ale unei serii de siguranțe fuzibile.

unde:

k_r și k_{em} - sunt constante ce depind de construcția releului;

I - intensitatea curentului ce trece prin bobină;

δ - întrefierul dintre armăturile fixă și cea mobilă, reglabil cu ajutorul unui excentric;

Δ - săgeata resortului în poziția în care cele două armături sunt lipite ($\delta = 0$); aceasta se modifică prin modificarea poziției punctului B în care se prinde resortul.

Pentru o anumită valoare a curentului care traversează bobina electromagnetului, numit curent reglat I_{em}, releul își atrage armătura mobilă și deschide contactele 6, închizând contactele 5.

$$I_{em} = \sqrt{\frac{k_r}{k_{em}}} \cdot \delta_0 \cdot \sqrt{\Delta - \delta_0} \qquad (4.1.5)$$

unde:

δ_0 - reprezintă întrefierul maxim (inițial) dintre armăturile fixă și mobilă.

Relația 4.1.5 evidențiază modurile în care se poate modifica valoarea curentului de reglare:

- *prin modificarea întrefierului inițial δ_0 (fig. II.4.6);*

Pentru un întrefier inițial δ_1, intersecția dintre cele două funcții F_{em1} și F_{r1} are loc în punctul 1 (fig. II.4.6), curentul de reglare rezultând I_{em1}.

Prin creșterea întrefierului inițial la valoarea δ_2 punctul 1 se mută în 2, căruia îi corespunde un curent $I_{em2} > I_{em1}$

- *prin modificarea săgeții resortului 4 din fig. II.4.5 (fig. II.4.7):*

Pentru săgeată $\Delta_2 > \Delta_1$, curentul de reglare crește de la valoarea I_{em1} la I_{em2}.

Aceste relee acționează la depășirea curentului de declanșare I_{em} și se numesc relee cu temporizare independentă de curent (fig. II.4.8).

Releele electromagnetice pot acționa cu temporizare dependentă de curent, de exemplu, prin cuplarea armăturii mobile cu o masă inertă, durata deplasării echipajului mobil fiind cu atât mai mică cu cât curentul care străbate bobina este mai mare. Caracteristica de declanșare este prezentată în fig. II.4.9.

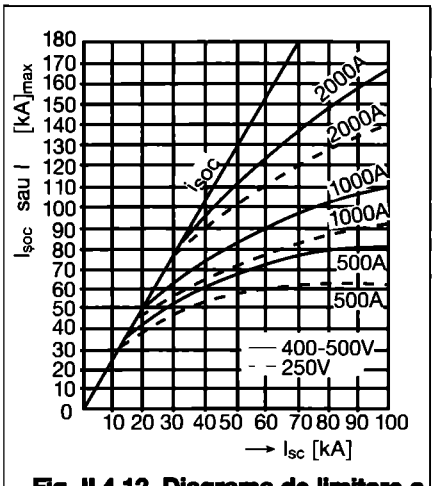


Fig. II.4.12. Diagrama de limitare a curentului pentru o serie de întreruptoare ultrarapide.

Temporizarea mai poate fi realizată și pe cale electrică. În acest caz, în circuitul principal al instalației protejate se leagă bobina de excitație a unui releu electromagnetic cu acțiune netemporizată.

Temporizarea poate fi realizată și pe cale electronică.

În cazul curenților de scurtcircuit foarte mari, pentru comanda întreruptoarelor se folosesc relee ultrarapide. Releele ultrarapide determină deschiderea contactelor întreruptoarelor în timp extrem de scurt, de ordinul milisecundelor, sau și mai scurt, realizându-se astfel deschiderea contactelor la o valoare inferioară curentului de scurtcircuit de șoc.

Se construiesc și relee magnetotermice formate dintr-un releu electromagnetic și un releu termic; primul asigură protecția împotriva curenților de scurtcircuit și la doilea împotriva supracurenților.

4.1.4. Siguranțe fuzibile

Sunt aparate de comutație care întrerup circuitul în care sunt instalate, prin topirea unuia sau a mai multor elemente concepute și calibrate în acest scop, atunci când curentul care parcurge siguranța depășește o anumită valoare pe o anumită durată.

Siguranțele fuzibile asigură protecția împotriva supracurenților de scurtcircuit și de sarcină.

Există două tipuri de siguranțe fuzibile: cu filet și cu mare putere de rupere.

Elementul principal al unei siguranțe este fuzibilul, realizat cu sârmă rotundă din cupru sau argint calibrată, la siguranțele cu filet sau cu benzi în paralel, la siguranțele cu mare putere de rupere. Firul sau benzile se montează într-un corp ceramic umplut cu nisip de cuarț și terminat cu capace sau cuțite de contact.

Atunci când intensitatea curentului depășește o anumită limită, fuzibilul se topește și întrerupe circuitul. Curentul cu care siguranța fuzibilă poate fi încărcată în regim permanent, fără ca temperatura punctelor de contact cu circuitul exterior să depășească valoarea maximă admisibilă, se numește curent nominal al siguranței, I_n. Supracurentul cu care siguranța poate fi încărcată în regim permanent, fără a se topi, se numește curent limită inferior, $I_{li} \cong 1,1\ I_n$. Curentul care determină topirea siguranței se numește curent limită superior $I_{ls} \cong 1,15\ I_n$.

Timpul de topire a siguranței este dat de relația:

$$t_a = T \ln \frac{1}{1 - \left(\frac{I_{lim}}{I}\right)^2} \qquad (4.1.6)$$

unde:

I_{lim} - este cel mai mare curent care nu produce topirea siguranței sau cel mai mic curent care o topește;

T - este constanta de timp a siguranței.

În fig. II.4.10 sunt prezentate caracteristicile de protecție la suprasarcină ale unei serii de siguranțe rapide, iar în fig. II.4.11 sunt prezentate caracteristicile de limitare ale unei serii de siguranțe fuzibile.

4.2. Aparate electrice de conectare

4.2.1. Întreruptoare de putere

Sunt aparate mecanice de comunicație, capabile să închidă, să suporte și să întrerupă curenții în condiții normale de funcționare a circuitului și, de asemenea, în condiții prestabilite, să închidă pe o perioadă specifică și să întrerupă curenții anormali cum sunt curenții de scurtcircuit.

În același timp sunt prevăzute cu relee și declanșatoare, realizând astfel protejarea liniilor electrice și a circuitelor de forță împotriva supracurenților de sarcină și de scurtcircuit, ca și împotriva lipsei de tensiune.

În fig. II.4.12 se prezintă diagrama de limitare a curentului pentru o serie de întreruptoare ultrarapide.

Pe axa absciselor se prezintă valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit trifazat stabilizat:

$$I_{sc} = \frac{U}{\sqrt{3} Z_{sc}} \qquad (4.2.1)$$

Atunci când întreruptorul este instalat pe partea de joasă tensiune, în imediata apropiere a unui transformator, curentul de scurtcircuit se calculează, acoperitor, cu ajutorul tensiunii de scurtcircuit a transformatorului, u_{sc}.

$$I_{sc} = I_{n_{tr}} \frac{100}{u_{sc}} \qquad (4.2.2)$$

unde:

$I_{n_{tr}}$ - este curentul nominal al transformatorului.

Pe ordonata graficului se prezintă curentul de șoc. În fig. II.4.12 sunt trasate caracteristicile de limitare: pentru o anumită valoare a curentului de scurtcircuit I_{sc}, se determină curentul de scurtcircuit maxim limitat I_l, parametrii curbelor fiind curentul nominal al aparatului și tensiunea lui nominală.

În fig. II.4.13 se prezintă caracteris-

tica de limitare a unor întreruptoare ultrarapide de fabricație AEG, unde:
1 - curba curentului limitat,
2 - curba curentului nelimitat,
I_s - curentul de șoc,
I_D - curentul de vârf limitat.

Întreruptoarele pentru protejarea motoarelor de curent nominal mic, prevăzute cu declanșatoare de supracurent termice și electromagnetice posedă, pentru curenții reglați foarte mici, o rezistență proprie - a arcului electric - atât de mare încât reușesc să reducă un curent de scurtcircuit I_{sc}, oricât de mare, la sau sub valoarea capacității de rupere a lor. Aceste întreruptoare sunt nelimitat stabile la scurtcircuit.

Elementele constructive principale ale întreruptoarelor sunt:
- mecanismul de închidere și deschidere a întreruptorului;
- contactele întreruptorului și dispozitivele de stingere a arcului electric;
- dispozitivele de protecție: declanșatoare sau relee.

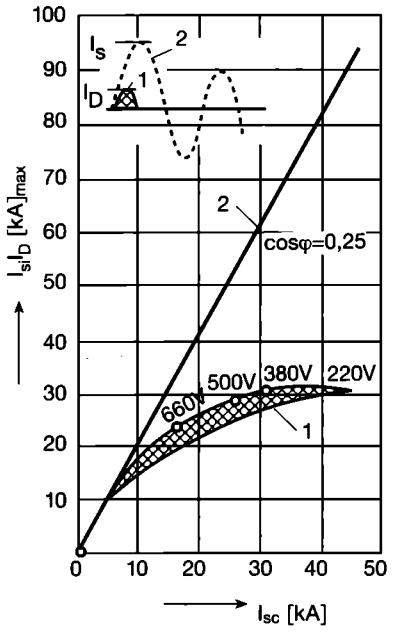


Fig. II.4.13. Caracteristica de limitare a unor întreruptoare ultrarapide AEG.

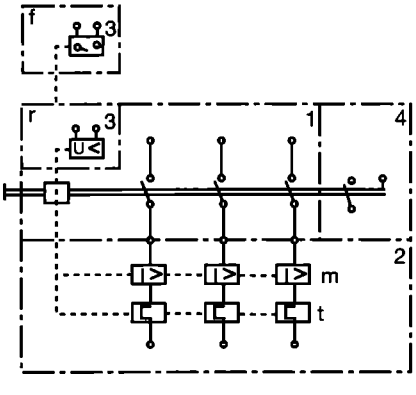


Fig. II.4.14. Schema bloc a unui întrerupător de protecție.

În fig. II.4.14 este prezentată schema bloc a unui întreruptor de protecție, unde:
1 - este întreruptorul cu organele de cuplare, camerele de stingere, zăvorul și organul de acționare;
2 - declanșatoare de supracurent termic temporizate *t* și electromagnetice netemporizate *m*;
3 - declanșator de tensiune minimă *r* sau declanșator de curent de lucru *f*;
4 - contacte auxiliare.

În fig. II.4.15 sunt prezentate caracteristicice de protecție ale unor întreruptoare prevăzute cu declanșatoare electromagnetice:
a - cu temporizare independentă de curent;
b - cu temporizare dependentă de curent;
c - combinate, cu temporizare scurtă de curent și fără temporizare;
d - combinate, fără temporizare și electrodinamice.

Elementele caracteristicilor corespund următoarelor tipuri de declanșatoare:
m - electromagnetice, cu temporizare independentă de curent;
mtm - electromagnetice, cu dispozitiv de reținere mecanică;
mt - electromagnetice, cu temporizare scurtă;
d - electrodinamice.

Liniile trasate întrerupt completează caracteristicile întreruptoarelor cu o zonă de protecție asigurată de relee termice.

4.2.2. Contactoare

Contactoare mecanice

Sunt aparate de comutație cu o singură poziție de repaus, acționate în alt mod decât manual, capabile să închidă, să suporte și să întrerupă curenți în condiții normale ale circuitului, inclusiv, curenții de serviciu și de suprasarcină.

În fig. II.4.16 se prezintă schema de

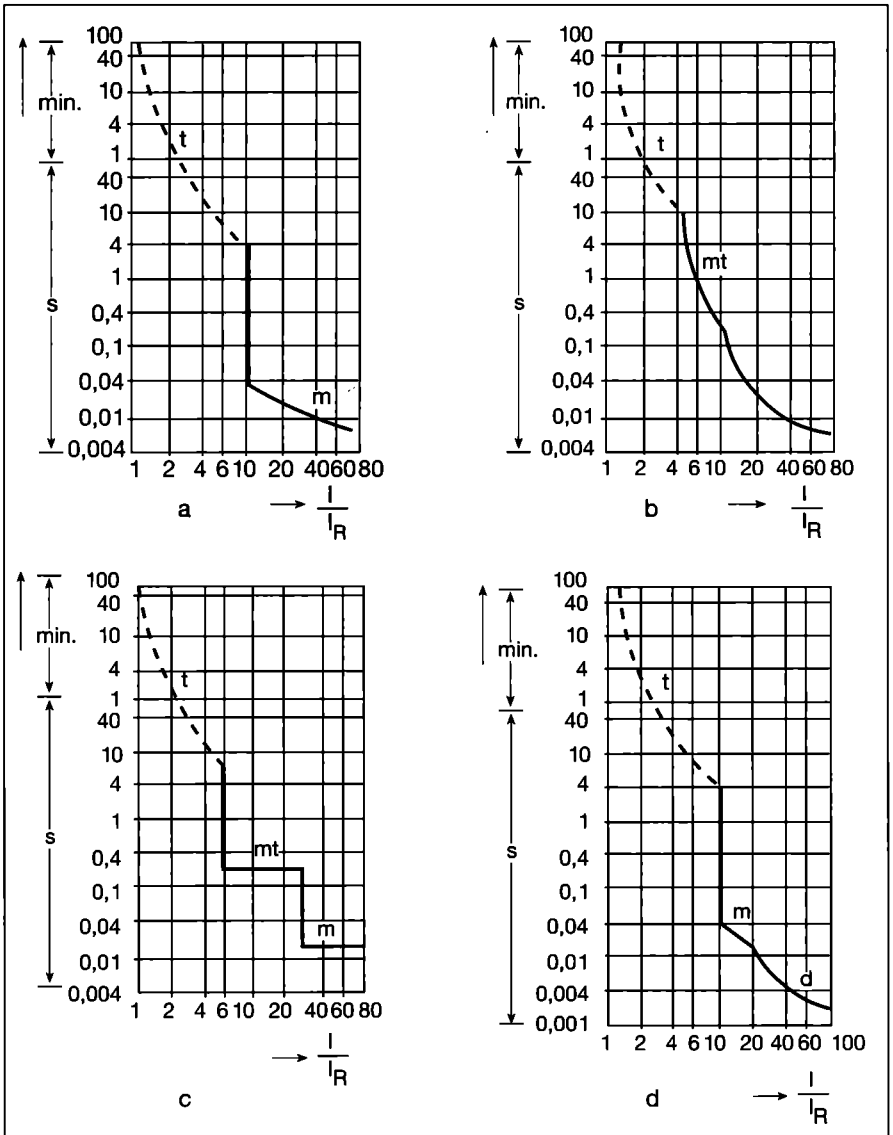


Fig. II.4.15. Caracteristicile de protecție ale unor întreruptoare prevăzute cu declanșatoare electromagnetice.

principiu a unui contactor electromagnetic. Închiderea și deschiderea contactorului se comandă prin butoanele S_1 și S_2 care stabilesc sau întrerup circuitul electromagnetului de acționare. Pentru menținerea contactelor în stare închisă, butonul de pornire S_1 este șuntat de contactul de automenținere K_a.

Circuitul de comandă se poate alimenta, din rețea, cu curent alternativ, în mod direct, sau cu curent continuu, prin intermediul unui redresor. În aceste cazuri, electromagnetul de acționare joacă și rolul de declașator de tensiune minimă.

Bornele contactoarelor închid contactele principale la o tensiune $(0,9...1,1)U_n$ și le deschid atunci când tensiunea scade sub $0,7\ U_n$. Dacă deschiderea contactorului în cazul reducerii tensiunii pentru un timp scurt este nedorită, alimentarea bobinei de acționare se face cu un dispozitiv de întârziere.

Contactoarele sunt destinate comenzii la distanță. Se folosesc în instalațiile de automatizare. Acestea sunt destinate să suporte un număr mare de manevre ($10^5...10^7$), cu o frecvență de conectare ridicată.

Contactoarele nu au rolul de a realiza protecția împotriva curenților de scurtcircuit și, de aceea, contactoarele se leagă în serie cu siguranțe fuzibile sau alte echipamente de protecție. Contactoarele se aleg în funcție de curentul nominal I_n și tensiunea nominală U_n. Curentul nominal al contactorului trebuie să fie mai mare decât curentul nominal al circuitului sau coloanei pe care se montează.

Contactoare statice

Față de contactoarele mecanice, contactoarele statice realizate cu ajutorul tiristoarelor, diodelor prezintă avantajele lipsei organelor de mișcare, al comenzii simple, gabaritului redus, precum și pe acela al posibilității reglării puterii absorbite de receptor.

În fig. II.4.17 a se prezintă schema de principiu a celui mai simplu contactor de curent alternativ monofazat din două tiristoare în montaj antiparalel. Fiecare tiristor conduce în câte una dintre semiperioade. La sfârșitul fiecărei semiperioade, în momentul în care curentul trece prin zero, conducția încetează. În următoarea semiperioadă, prin intermediul unui impuls de curent aplicat porții tiristorului T_2, acesta conduce. Lipsa impulsurilor aplicate tiristoarelor conduce la deschiderea contactorului.

Prin reglarea timpului de conducție a tiristoarelor se reglează puterea transferată sarcinii.

În curent alternativ se folosesc și punți cu tiristoare.

În fig. II.4.18 se prezintă schema unui contactor static de curent continuu.

În faza inițială se comandă conducția tiristorului auxiliar T_2. Condensatorul C se încarcă la o tensiune egală cu aceea a sursei, cu polaritatea indicată în partea stângă a condensatorului C. La sfârșitul perioadei de încărcare, curentul se anulează și tiristorul T_2 se dezamorsează.

Închiderea contactorului se realizează prin comanda conducției tiristorului T_1. Condensatorul C și bobina L au tendința de a amorsa o descărcare oscilantă prin tiristorul T_1 și dioda D_2. Descărcarea încetează după o jumătate de perioadă, deoarece dioda D_2 nu permite închiderea curentului în sens invers. Condensatorul C rămâne încărcat cu o tensiune egală cu aceea a sursei, însă cu sensul inversat.

Întreruperea circuitului se obține prin comanda aprinderii tiristorului T_2. Atunci condensatorul C este legat în paralel cu tiristorul T_1, care se dezamorsează, fiind supus unei tensiuni inverse. Condensatorul C se descarcă prin T_2 și sarcina *z* și apoi se încarcă în sens inversat, pregătind o nouă conectare.

Dioda D_1 servește la protecția împotriva supratensiunilor de comutație care ar apărea în cazul sarcinii inductive.

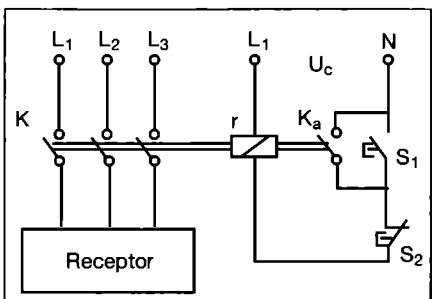


Fig. II.4.16. Schema de principiu a unui contactor electromagnetic.

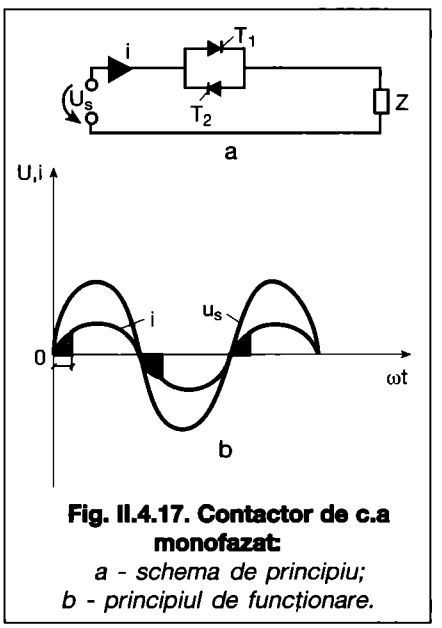


Fig. II.4.17. Contactor de c.a monofazat:
a - schema de principiu;
b - principiul de funcționare.

4.2.3. Disjunctoare și disjunctoare diferențiale

Disjunctoare

Sunt aparate de acționare și protecție a instalațiilor de distribuție a energiei electrice.

Funcțiile unui disjunctor sunt:
- stabilire, întrerupere și comandă a unui circuit;
- protecție împotriva suprasarcinilor și a curenților de scurtcircuit prin intermediul releelor termice și electromagnetice integrate.

În fig. II.4.19 se prezintă schema de principiu a unui disjunctor, în care:
1 - reprezintă polii sau contactele principale prevăzute cu sistem de stingere a arcului electric;
2 - releul termic;
3 - releul electromagnetic;
4 - legăturile mecanice care conduc la deschiderea automată a contactelor principale și, prin aceasta, la întreruperea circuitului;
5 - dispozitivul de anclanșare și declanșare;
6 - levierul de comandă manuală sau automată.

În fig. II.4.20 a sunt prezentate curbele de declanșare a disjunctoarelor pentru curenți nominali mai mici de 100 A. Curba tip *L* corespunde protecției generatoarelor și a cablurilor lungi, în regimurile de neutru T.N. și I.T.

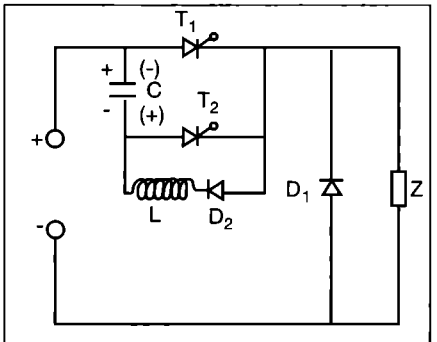


Fig. II.4.18. Schema unui contactor static de curent continuu.

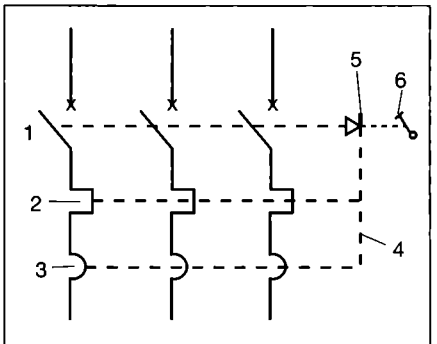


Fig. II.4.19. Schema de principiu a unui disjunctor.

(I_{em} = 2,6...3,85 I_{Rt}); curba *U* corespunde protecției cablurilor care alimentează receptoarele clasice (I_{em} = 5,5...8,8 I_{Rt}); curba *D* corespunde receptoarelor cu un curent mare la punerea sub tensiune (I_{em} = *10...14* I_{Rt}); curba *MA* corespunde protecției demaroarelor motoarelor (I_{em} = *12,5* I_{Rt}). Cu I_{em} s-a notat curentul de reglare a releului electromagnetic și cu I_{Rt} - curentul de reglare a releului termic.

În fig. II.4.20 b sunt prezentate curbele de declanșare a disjunctoarelor cu curenți nominali între 125 și 1250 A. Disjunctoarele cu curba *D* se folosesc pentru alimentarea receptoarelor clasice, cele cu curba *G* pentru generatoare și cabluri foarte lungi, cele cu curba *SA* au o ameliorare a selectivității protecțiilor, cele cu curba *MA* se folosesc pentru demaroarele motoarelor electrice.

Anumite disjunctoare au integrat un declanșator electronic. Acesta realizează protecția declanșatoarelor de tip *D*, *G* și *SA*. El este alimentat prin captatoare de curent de precizie și se alimentează de la o sursă auxiliară.

Aceste declanșatoare realizează 3 niveluri de protecție (fig. II.4.21):
1 - la suprasarcină;
2 - împotriva curenților de scurtcircuit;
3 - „instantanee".

Exemplu: un disjunctor SCHNEIDER ELECTRIC tip C 400 N cu un declanșator electronic ST 204S are protecția la suprasarcină reglată la *0,5x400 = 200* A, protecția la scurtcircuit reglată la *10x200 = 2000* A și protecția „instantanee" reglată la 15 I_n = *15x400 = 6000* A.

Declanșatoarele electronice se folosesc pentru protecția cablurilor, transformatoarelor, generatoarelor. Au o mare precizie de reglare și sunt insensibile la temperatura ambiantă.

În fig. II.4.22 sunt prezentate curbele de limitare în curent ale unor disjunctoare construite de firma SCHNEIDER ELECTRIC, la o tensiune de 380 V.

Exemplu: un disjunctor C 400 L limitează un curent de scurtcircuit cu valoarea efectivă de 100 kA, la 42 kA.

Disjunctoarele se aleg în funcție de tensiunea rețelei, frecvență, curent permanent, număr de poli, curentul de rupere, tipul receptoarelor.

Curentul nominal al disjunctorului trebuie să fie mai mare decât curentul permanent, iar curentul de rupere trebuie să fie mai mare decât curentul de scurtcircuit din locul în care este instalat.

În tabelul II.4.2 sunt prezentate principalele caracteristici ale unor disjunctoare fabricate de SCHNEIDER ELECTRIC, pentru tensiunea nominală de 440 V.

Prin *filiație* se înțelege utilizarea puterii de limitare a disjunctoarelor, oferind posibilitatea de a instala, în aval, disjunctoare mai puțin performante. Disjunctorul din amonte joacă, în acest caz, rolul unei bariere pentru curenții intenși de scurtcircuit.

Filiația se referă la toate aparatele situate în aval, nu numai la două aparate consecutive. Se precizează că curentul de rupere a disjunctorului din amonte

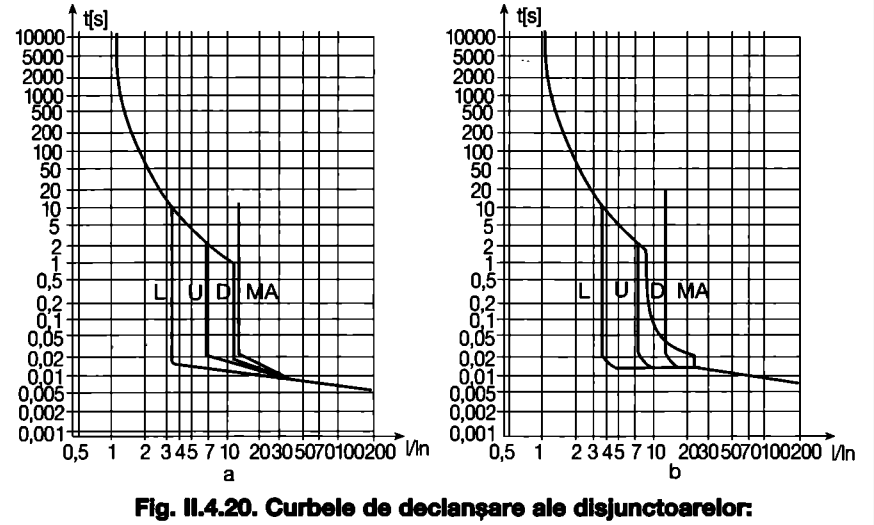


Fig. II.4.20. Curbele de declanșare ale disjunctoarelor:
a - pentru curenți nominali mai mici de 100 A;
b - pentru curenți nominali între 125 și 1250 A.

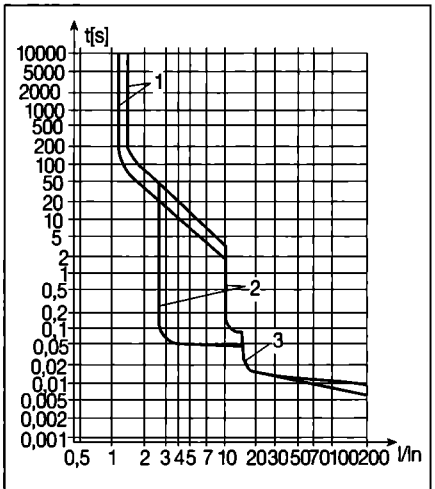


Fig. II.4.21. Protecția la suprasarcină (disjunctor cu declanșator electronic).

Tabelul II.4.2. Principalele caracteristici ale unor disjunctoare fabricate de SCHNEIDER ELECTRIC, pentru tensiunea nominală de 380 V

Tip disjunctor	Curent permanent [A]	Curent de rupere [kA]	Tip disjunctor	Curent permanent [A]	Curent de rupere [kA]
C 32 a	38	4,5	C 160H	160	35
C 32 N	38	8	C 160 L	160	150
C 32 H	40	10	TC 160 H	160	25
C 32 L	38	22	C 250 N	250	35
C 32 LH	40	50	C 250 H	250	50
C 63 H	63	8 (50 A) 6 (63 A)	C 250 L	250	150
C 63 L	60	22	C 400 N	400	35
C 63 LM	63	50	C 400 H	400	50
C 100 TC 100	100	10	C 400 L	400	150
C 125 N	125	22	C 630 N	630	35
C 125 H	125	50	C 630 H	630	50
C 125 LB	125	100	C 630 L	630	150
C 125 L	125	150	C 1000 L	1000	150
C 160 N	160	25	C 1250	1250	50

trebuie să fie superior curentului de scurtcircuit din locul în care este instalat.

În tabelul II.4.3 sunt prezentate disjunctoarele care pot fi montate în aval, cu puterea de rupere „întărită" prin filiație cu disjunctoarele din amonte.

Exemplu: filiație în trei trepte (fig. II.4.23).

Disjunctorul A alege un C 250 L cu o putere de rupere de 150 kA, pentru un curent de scurtcircuit în aval de 80 kA. Disjunctorul B alege un C 125 N care, deși are o putere de rupere de 22 kA, prin filiație, puterea de rupere este „întărită" la 150 kA. Disjunctorul C se alege un C 32 N, puterea de rupere de 8 kA fiind „întărită" prin filiație cu C 250L la 25 kA, peste I_{sc} = 24 kA.

Prin *selectivitate* se înțelege coordonarea dispozitivelor de întrerupere automată, astfel încât un defect care intervine într-un punct oarecare al rețelei să fie eliminat de disjunctorul amplasat în amonte față de locul defectului.

În fig. II.4.24 se prezintă un transformator care alimentează 3 tablouri de distribuție.

Selectivitatea este ideală dacă, pentru oricare defect, suprasarcină sau scurtcircuit, disjunctorul D_2 se deschide și D_1 rămâne închis. În acest fel se întrerupe alimentarea cu energie electrică numai a receptoarelor care sunt situate în aval de locul defectului.

Selectivitatea se poate realiza fie în funcție de curentul de declanșare I_m (selectivitate ampermetrică), fie în funcție de timpul de declanșare t_d (selectivitate cronometrică).

În tabelul II.4.4 se prezintă coordonarea unor disjunctoare SCHNEIDER ELECTRIC care asigură selectivitatea. În fig. II.4.25 se prezintă un exemplu de alegere a disjunctoarelor. Limita de selectivitate între D_0 - D_1, D'_0 - D_4, D'_0 - D_7, este multiplicată cu numărul de transformatoare legate în paralel.

Disjunctoarele D_0 și D'_0 se aleg de tip C 1250 cu curentul nominal 1250 A > 1155 A și cu puterea de rupere 50 kA > I_{sc} = 48 kA.

Celelalte disjunctoare se aleg în funcție de curenții nominali, de curenții de scurtcircuit și de selectivitatea precizată în tabelul II.4.4.

Disjunctoare diferențiale

Au rolul de a asigura protecția:

- personalului de exploatare împotriva contactelor indirecte;
- a echipamentelor și construcției la existența unor curenți de fugă pe una din faze datorită unor defecte cum ar fi: scurtcircuit, contacte imperfecte, defecte de izolație.

Dispozitivul diferențial este format dintr-un circuit magnetic în formă de tor pe care sunt bobinate (sau îl traversează) circuitul sau circuitele de fază și cel de neutru.

În fig. II.4.26 a se prezintă schema unui disjunctor diferențial monofazat, în care sunt prezentate:

1 - contactele;
2 - declanșator magnetotermic;
3 - tor;
4 - circuit de fază;
5 - circuit de nul;
6 - bobină de măsură;
7 - electromagnet;
8 - buton de anclașare a disjunctorului;
9 - buton de declanșare manual sau automat.

În absența unui curent de defect, fluxurile magnetice produse de bobinele înfășurate pe tor au suma algebrică nulă. În cazul apariției unui defect, fluxul

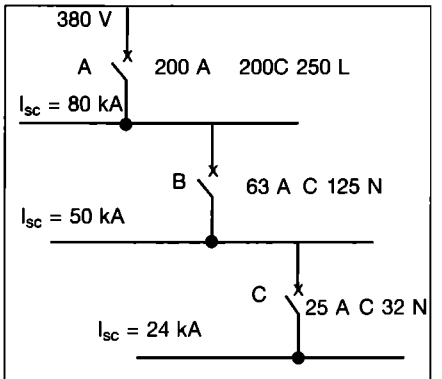


Fig. II.4.23. Filiația în trei trepte.

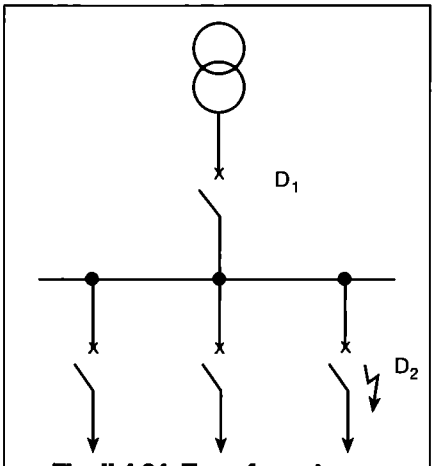


Fig. II.4.24. Transformator care alimentează trei tablouri de distribuție.

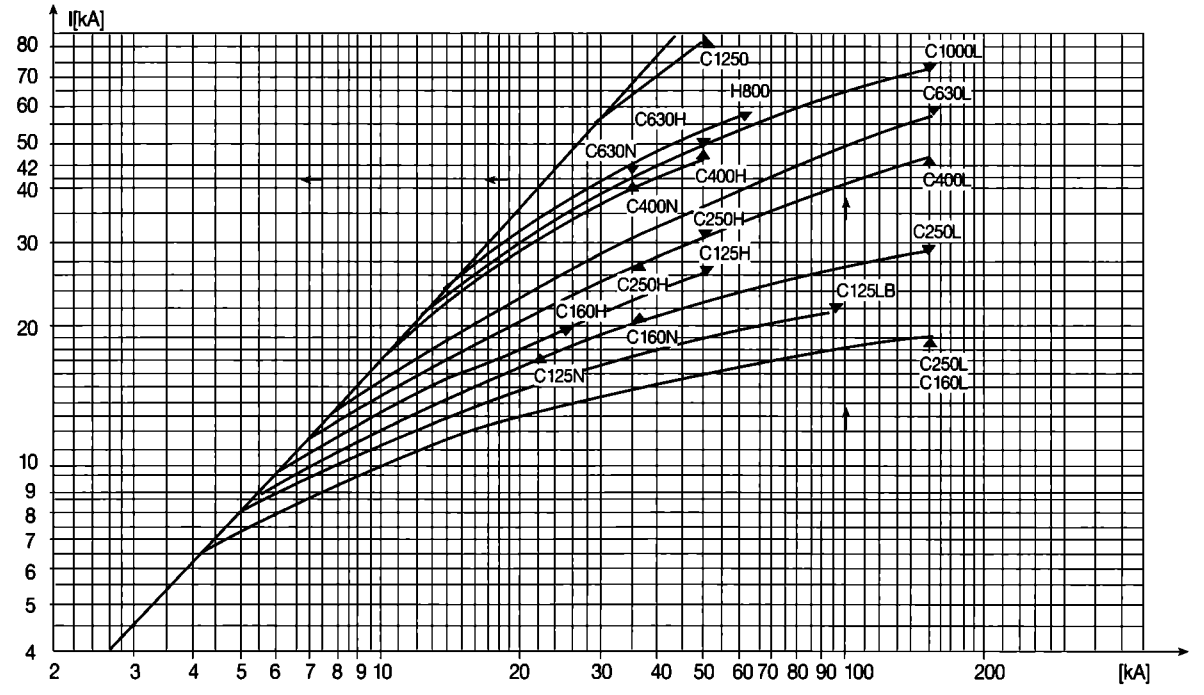


Fig. II.4.22. Curbele de limitare în curent ale unor disjunctoare construite de firma SCHNEIDER ELECTRIC, la o tensiune de 380 V.

magnetic din tor are o valoare diferită de zero, în bobina 6 se induce o tensiune electromotoare, iar electromagnetul 7 produce declanșarea disjunctorului. În cazul unui disjunctor trifazat, în afara bobinei 6, pe un tor sunt dispuse 4 bobine traversate de curenții de fază și de curentul din conductorul de nul.

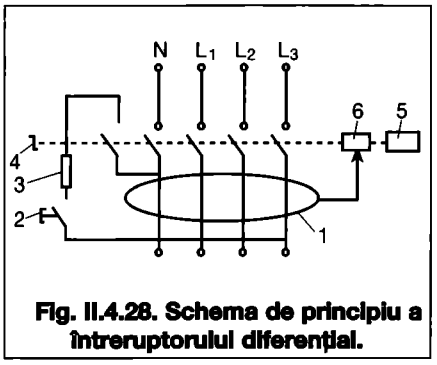


Fig. II.4.28. Schema de principiu a întreruptorului diferențial.

Sensibilitatea disjunctorului diferențial precizează valoarea curentului de defect care conduce la declanșarea disjunctorului. Acest curent are valori de 6, 10, 30, 100, 300 și 500 mA și 1A.

În cazul în care se instalează mai multe disjunctoare diferențiale, se poate realiza fie o selectivitate orizontală, fie o selectivitate verticală.

În cazul în care se realizează selectivitatea orizontală, disjunctorul din amonte este fără protecție diferențială. În cazul unui defect se întrerupe numai circuitul în care acesta s-a produs (fig. II.4.27 a).

În cazul selectivității verticale, sensibilitatea disjunctorului din amonte I_{1d} trebuie să aibă o valoare de 2 ori mai mare decât cea a disjunctorului din aval I_{2d}, iar timpul de declanșare a disjunctorului din amonte trebuie să fie mai mare decât al disjunctorului din aval (fig. II.4.27 b).

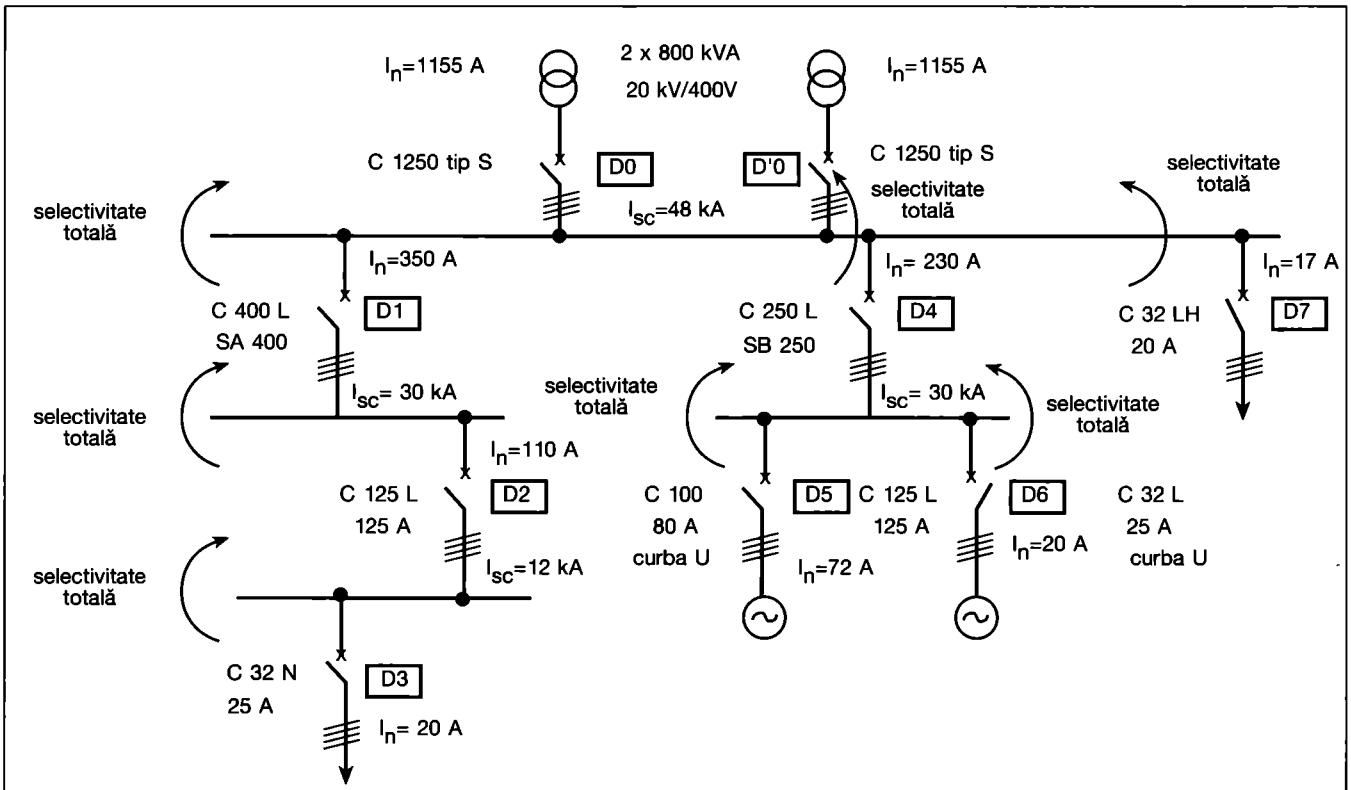


Fig. II.4.25. Exemplu de alegere a disjunctoarelor.

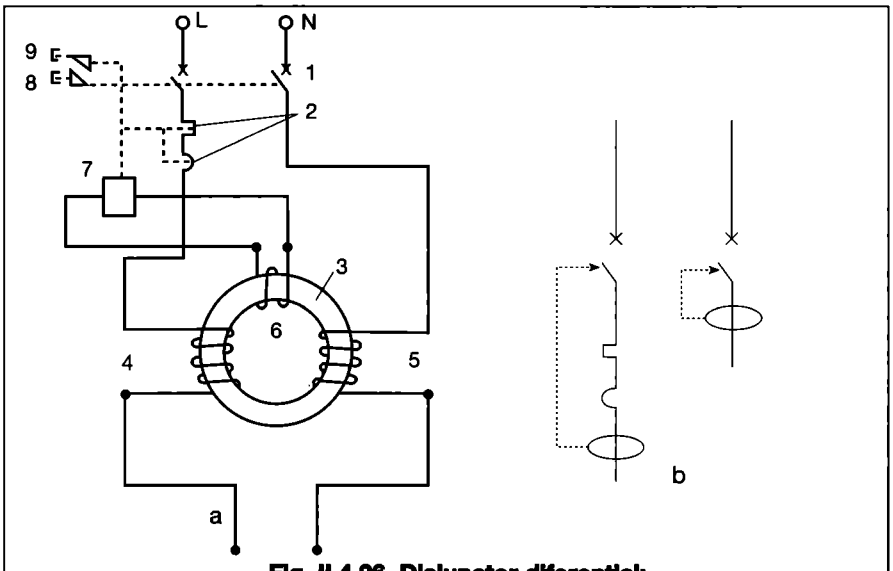


Fig. II.4.26. Disjunctor diferențial:
a - schema disjunctorului diferențial;
b - simboluri utilizate în schemele electrice

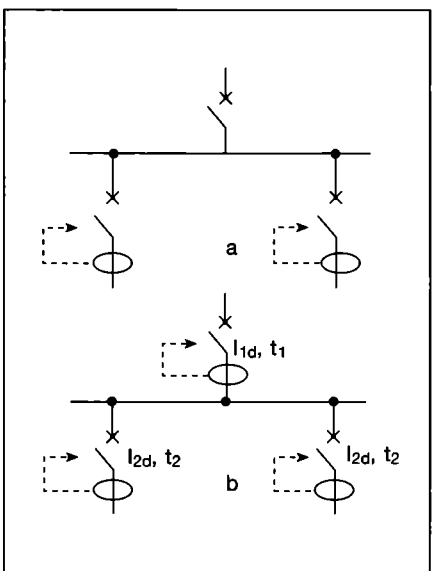


Fig. II.4.27. Realizarea selectivității orizontale (a) și verticale (b).

4.2.4. Întreruptoare diferențiale

Se folosesc pentru:
- personalului de exploatare împotriva atingerilor directe sau indirecte cu mediile bune conducătoare de electricitate, adică împotriva riscului de electrocutare. Aceste întreruptoare diferențiale sunt cu sensibilitate ridicată, de la 10 până la 30 mA;
- protecția instalațiilor împotriva defectelor de izolație, care au ca urmare deteriorarea materialelor și provocarea incendiilor; aceste întreruptoare diferențiale au o sensibilitatea de la 100 mA până la 300 mA.

Schema de principiu a întreruptorului diferențial este prezentată în fig. II.4.28. Pe torul 1, situat în aval de întreruptor, se montează bobine traversate de curenții din circuitul de alimentare; 2 este un buton pentru verificare (testarea) funcționării ansamblului; 3 - rezistență adițională și de protecție a circuitului de testare; 4 - buton rotativ de rearmare sau comandă manuală a închiderii sau deschiderii; 5 - dispozitiv pentru blocarea întreruptorului în poziție deschisă, în vederea evitării reanclașării întreruptorului; 6 - organ de comandă.

Întreruptorul diferențial poate fi prevăzut cu contacte auxiliare normal închise și normal deschise.

4.2.5. Chei de comandă și butoane

Se folosesc pentru comanda circuitelor electrice de curent alternativ, la frecvența de 50...60 Hz, și a circuitelor electrice de curent continuu la tensiuni de 24; 48; 110 V. Acestea se construiesc astfel încât să suporte milioane de comenzi.

În fig. II.4.29 se prezintă diferite tipuri de butoane cu comandă prin apăsare (a), pentru oprirea de urgență (b), cu manetă (c), cu cheie (d), cu manetă (e).

În fig. II.4.30 se reprezintă butoane cu semnalizare luminoasă. Lămpile de semnalizare sunt cu incandescență la o tensiune mai mică de 130 V, putere de 2,6 W, sau cu neon care funcționează la tensiuni cuprinse între 110 și 380 V, precum și blocuri cu butoane de comandă și semnalizare.

4.3. Aparate electrice de semnalizare

Semnalizarea electrică are drept scop transmiterea la distanță a unor informații sub formă luminoasă sau sonoră.

Informațiile se codifică după care se transmit la distanță.

Prin codificarea semnalului se înțelege transformarea unor informații, în tensiune sau curent, prin contacte acționate automat sau prin butoane. Semnalul este transmis prin linii și uneori este amplificat. Semnalul transmis acționează fie direct, fie prin relee.

Sursa de energie este de curent alternativ: 12, 24, 48 V sau de curent continuu (baterii de acumulatoare).

- **Aparate de semnalizare sonoră**

În fig. II.4.31 se prezintă schema unei sonerii, unde:
1 - este clopot;
2 - ciocan;
3 - bobină cu circuit magnetic fix;
4 - bornă de racordare;
5 - armătură mobilă;
6 - șurub de reglare a contactului bobinei mobile;
7 - borna și suportul armăturii mobile.

Atunci când curentul traversează bobina 3, armătura mobilă, 5, este atrasă și ciocanul lovește clopotul. În același timp contactul 6 este întrerupt. Când armătura 5 revine în poziția inițială, contactul 6 este restabilit, curentul traversează din nou bobina și ciclul se reia.

Reglarea frecvenței sunetului se realizează cu șurubul 6.

Există sonerii de curent alternativ care au o armătură mobilă ce vibrează la frecvența curentului alternativ, aceasta fiind atrasă de două ori pe perioadă.

În afară de sonerii mai sunt utilizate, ca aparate de semnalizare sonoră: buzerele, hupele și sirenele. Acestea, de regulă, sunt montate în schemele de comandă ale diferitelor tablouri de automatizare.

- **Aparate de semnalizare luminoasă**

Acestea sunt lămpi de semnalizare cu diode electroluminiscente cu rezistență de balast încorporată sau coloane luminoase ce pot avea până la cinci etaje.

4.4. Aparate electrice de măsură

Un aparat de măsură este un sistem care traduce un fenomen fizic într-un alt fenomen care poate fi vizualizat și apreciat. În fig. II.4.32 se prezintă schema bloc a unui aparat de măsură.

4.4.1. Aparate magnetoelectrice

Acestea au în construcție un magnet permanent ce produce un câmp magnetic uniform.

În acest câmp se găsește o bobină mobilă ce este alimentată cu un curent proporțional cu mărimea de măsurat. Asupra bobinei acționează un cuplu motor produs de câmpul magnetic și un cuplu rezistent mecanic, produs de un sistem de arcuri elastice. La echilibru, deviația unghiulară α a bobinei

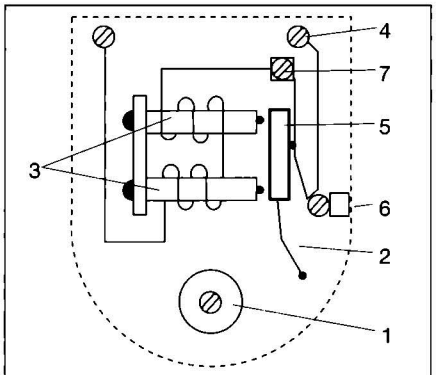


Fig. II.4.31. Schema unei sonerii.

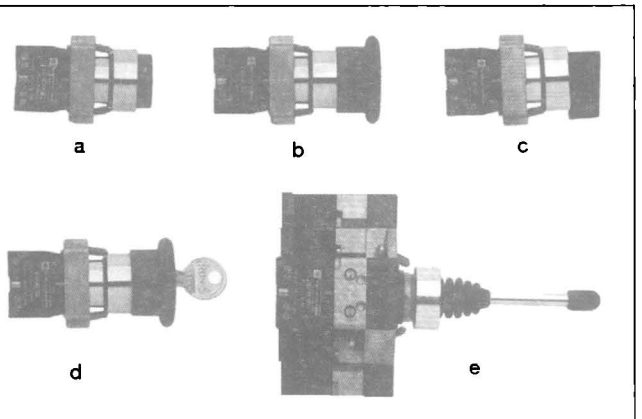


Fig. II.4.29. Diferite tipuri de butoane.

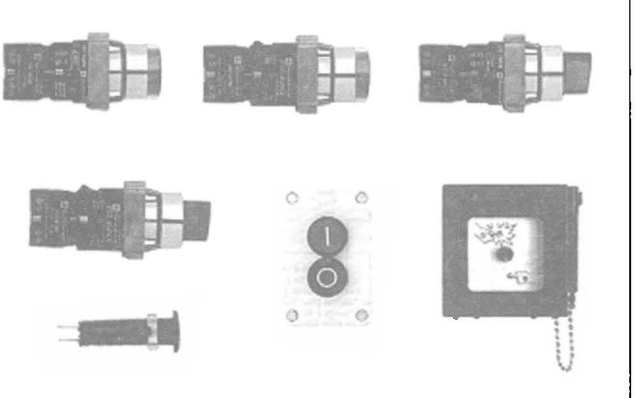


Fig. II.4.30. Butoane cu semnalizare luminoasă.

este marcată pe un ecran, de un ac indicator (solidar cu bobina). Ea este proporțională cu curentul ce trece prin bobină:

$\alpha = k\ I$ (4.4.1)

în care:

k - este constanta caracteristică aparatului;

I - curentul ce trece prin bobină.

Scala aparatului este uniformă. Dacă se schimbă sensul curentului care traversează bobina mobilă, acul aparatului deviază în sens opus. Acestea sunt aparate polarizate și se folosesc în curent continuu.

Aparatele magnetoelectrice au o clasă de precizie foarte bună (0,1 sau chiar mai mică).

Cu ajutorul mecanismelor magnetoelectrice se construiesc miliampermetre, milivoltmetre, ampermetre și voltmetre de curent continuu.

Pentru a fi utilizate în curent alternativ, se folosesc punți redresoare. Scala aparatului se gradează în valoarea efectivă a mărimii de măsurat: curent, tensiune.

4.4.2. Aparate feromagnetice

Funcționarea acestor aparate de măsură se bazează pe forța electromagnetică exercitată de un câmp magnetic asupra unei piese magnetice.

Echipajul fix îl constituie o bobină parcursă de curentul (I). Aceasta creează câmpul electromagnetic ce acționează asupra echipajului mobil, format dintr-un fir moale și solidar cu acul indicator. Cuplul antagonist este dat de un resort spiralat.

Cuplul motor este dat de relația:

$$M = \frac{1}{2} I^2 \left(\frac{dL}{d\alpha}\right) \quad (4.4.2)$$

unde:

L - este inducția proprie a ansamblului bobină - miez,

α - este deviația unghiulară a acului aparatului.

Dacă $dL/d\alpha = const.$, deviația unghiulară a acului aparatului este:

$\alpha = k \cdot I^2$ (4.4.3)

în care:

k - este constanta caracteristică a aparatului;

I - curentul ce trece prin bobină.

Scala aparatului este pătratică.

Aparatele feromagnetice se folosesc atât în curent continuu, cât și în curent alternativ. În curent alternativ aparatul măsoară valoarea efectivă a mărimii: tensiune sau curent.

4.4.3. Aparate electrodinamice

Circuitul magnetic este format din două bobine fixe conectate în serie și traversate de un curent I_1. Acest circuit produce un câmp magnetic inductor în care se dispune o bobină mobilă traversată de un curentul I_2.

Deviația unghiulară a acului aparatului este proporțională cu valoarea medie a produsului celor doi curenți:

$$\alpha = k \frac{1}{T} \int_0^T I_1 I_2 dt \quad (4.4.4)$$

Cu ajutorul mecanismelor electrodinamice se construiesc ampermetre, voltmetre, de curent continuu și alternativ și wattmetre.

4.4.4. Aparate de inducție

Funcționarea acestor aparate se bazează pe acțiunea reciprocă dintre fluxurile magnetice create de una sau mai multe bobine și curenții induși de aceste fluxuri în organul mobil. Aparatele de inducție funcționează numai în curent alternativ.

Aparatul de inducție cu fluxuri multiple (fig. II.4.33) este format dintr-un disc metalic ce se rotește în întrefierurile unor electromagneți.

Fluxurile magnetice Φ_1 și Φ_2 defazate între ele interacționează cu curenții induși de ele în disc, formând un câmp învârtitor.

Cuplul motor este proporțional cu produsul curenților I_1 și I_2 și sinusul unghiului de defazaj Ψ dintre aceștia:

$M_a = k_a \cdot I_1 \cdot I_2 \sin \Psi$ (4.4.5)

Cuplul rezistent este dat de arcuri spirale și este proporțional cu turația n a discului:

$M_r = k_r \cdot n$ (4.4.6)

La echilibru:

$n = k' \cdot I_1 \cdot I_2 \sin \Psi$ (4.4.7)

Aparatele de inducție cu fluxuri multiple se utilizează ca voltmetre, ampermetre, wattmetre și contoare.

4.4.5. Măsurarea tensiunilor. Extinderea domeniului de măsurare

În regim continuu, tensiunile se măsoară cu voltmetre magnetoelectrice.

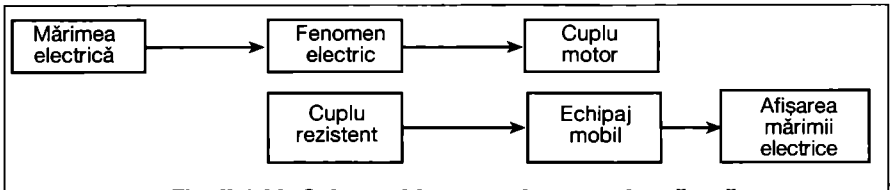


Fig. II.4.32. Schema bloc a unui aparat de măsură.

În regim alternativ, pentru măsurarea tensiunilor, se folosesc voltmetre magnetoelectrice cu redresor, feromagnetice, electrodinamice sau electronice.

Voltmetrele se montează în paralel cu elemente de circuit pe care se măsoară căderea de tensiune sau între bornele rețelei.

Pentru extinderea domeniului de măsurare în regim continuu se folosesc rezistențe adiționale R_a legate în serie cu voltmetrul, cu rezistență internă R_v (fig. II.4.34 a). Rezistența adițională se determină cu relația:

$R_a = R_v(n-1)$ (4.4.8)

unde:

n - reprezintă raportul dintre tensiunea care se măsoară și tensiunea indicată de voltmetru.

Pentru extinderea domeniului de măsurare, în regim alternativ, se folosesc transformatoare de măsură de tensiune (fig. II.4.34 b).

Transformatoarele de măsură de tensiune nu se deosebesc din punct de vedere constructiv de transformatoarele monofazate de mică putere. Înfășurarea secundară a transformatorului se dimensionează pentru o tensiune de 100 V. Regimul de funcționare a acestor transformatoare este regimul de mers în gol, deoarece rezistența inter-

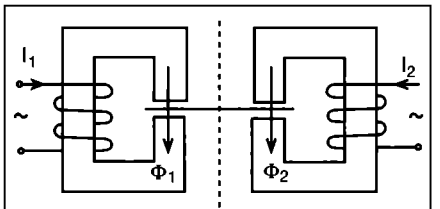


Fig. II.4.33. Aparatul de inducție cu fluxuri multiple.

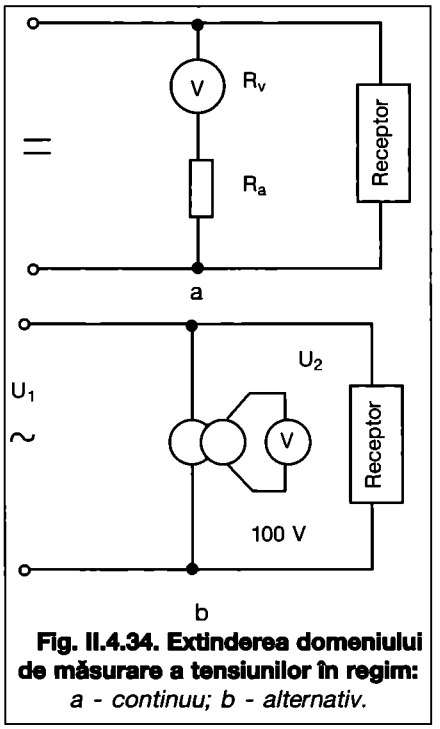


Fig. II.4.34. Extinderea domeniului de măsurare a tensiunilor în regim: *a - continuu; b - alternativ.*

nă a voltmetrului legat la bornele înfășurării secundare are valori foarte mari.

Raportul de transformare al transformatorului:

$k_u = U_1/U_2$ (4.4.9)

are valori standardizate, U_1 și U_2 fiind tensiunile primarului și, respectiv, secundarului.

4.4.6. Măsurarea curenților. Extinderea domeniului de măsurare

În regim continuu, măsurarea curenților se realizează cu ampermetre magnetoelectrice. În regim alternativ, curenții se măsoară cu ampermetre magnetoelectrice cu redresor, feromagnetice, electrodinamice, electronice.

Ampermetrele se montează în serie cu circuitul traversat de curentul care se măsoară. Pentru extinderea domeniului de măsurare în curent continuu se folosesc șunturi (fig. II.4.35). Pentru a mări de n ori domeniul de măsurare se folosește un șunt cu rezistența:

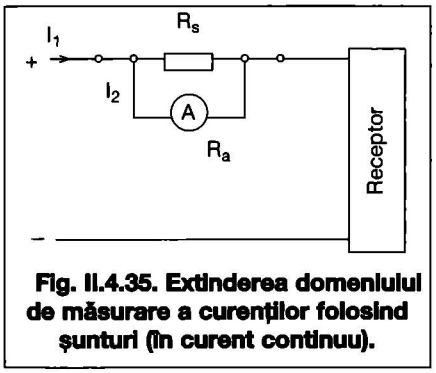


Fig. II.4.35. Extinderea domeniului de măsurare a curenților folosind șunturi (în curent continuu).

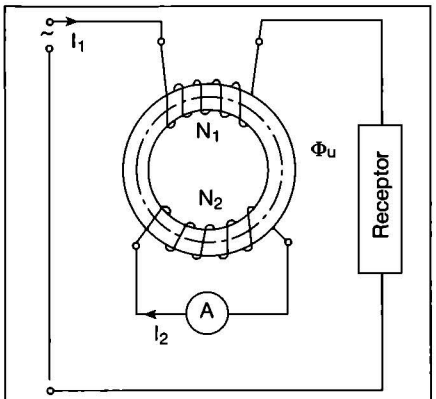


Fig. II.4.36. Reductorul de intensitate.

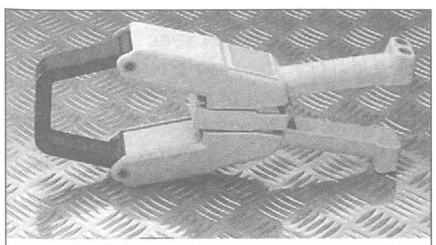


Fig. II.4.37. Clește ampermetric pentru măsurarea curenților.

$$R_s = \frac{1}{n-1} \cdot R_a \quad (4.4.10)$$

unde:

R_a - este rezistența ampermetrului.

Pentru extinderea domeniului de măsurare în curent alternativ se folosesc transformatoare de curent numite și reductoare de intensitate.

Reductorul de intensitate (fig. II.4.36) se compune dintr-un miez magnetic sub formă de tor pe care se dispun două înfășurări: primară și secundară.

Înfășurarea primară are puține spire N_1 și mai multe prize. Aceasta se leagă în serie în circuitul în care se măsoară curentul.

Înfășurarea secundară are multe spire N_2. La bornele înfășurării secundare, dimensionată pentru un curent de *5* A, (mai rar de *1* A), se leagă un ampermetru de *5* A (respectiv *1* A).

Raportul de transformare al transformatorului de curent (k_1) are valori standardizate: 10/5; 20/5; 25/5; 50/5; 100/5;...; 3000/5.

Ampermetrul măsoară curentul I_2. Curentul din circuit are valoare efectivă:

$I_1 = k_1 \cdot I_2$ (4.4.11)

Regimul de funcționare a transformatorului de curent este regimul de scurtcircuit, deoarece la bornele înfășurării secundare se leagă un ampermetru care are o rezistență foarte mică.

La funcționarea în gol a transformatorului de curent, solenația de magnetizare $N_1 I_{10}$ capătă valori importante, producând o încălzire exagerată a miezului și tensiuni electromotoare induse importante. Acest regim de funcționare se evită prin scurtcircuitarea bornelor înfășurării secundare atunci când ampermetrul nu este legat.

În practică, pentru măsurarea curenților se folosește și cleștele ampermetric (fig. II.4.37). Înfășurarea primară a acestuia este constituită de conductorul traversat de curentul care se măsoară.

Pentru măsurarea tensiunilor și curenților se folosesc multimetre analogi-

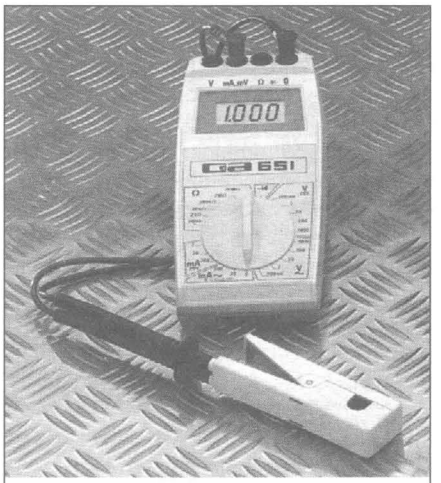


Fig. II.4.38. Multimetre analogice sau numerice.

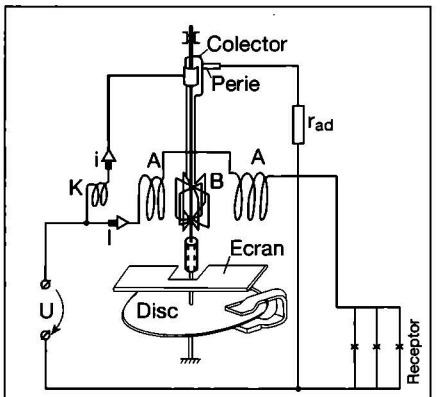


Fig. II.4.39. Contorul electrodinamic - principiul de funcționare.

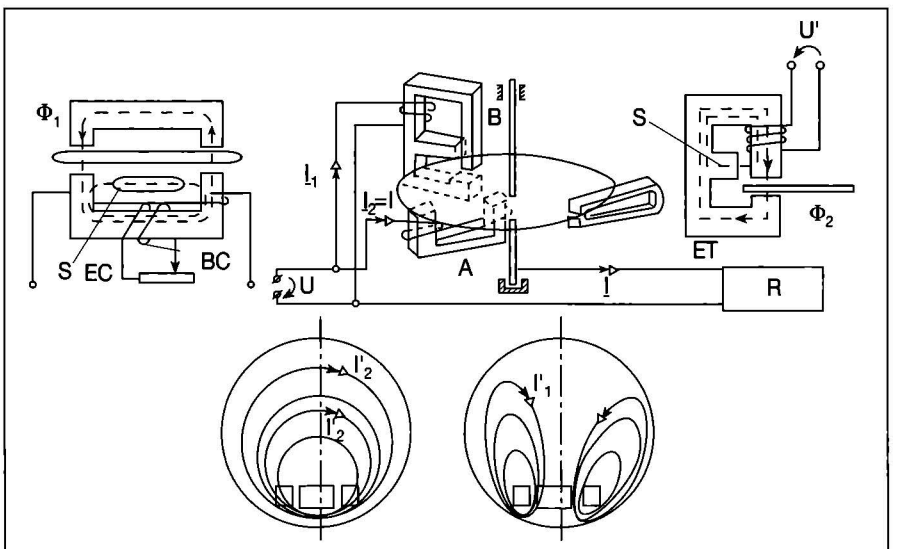


Fig. II.4.40. Schema de principiu a contorului de inducție:
S - șunt; BC - bobinaj de compensare; EC - electromagnet de curent; ET - electromagnet de tensiune; R - receptor; I'_1 și I'_2 - curenții de inducție din discul de aluminiu.

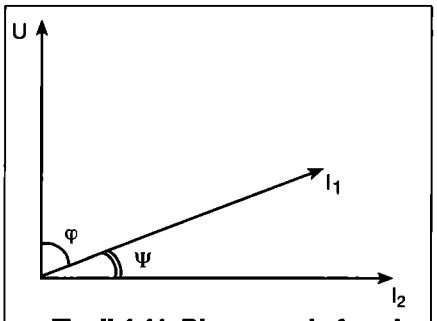


Fig. II.4.41. Diagrama de fazori.

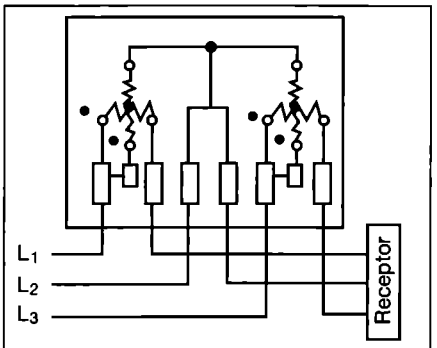


Fig. II.4.42. Măsurarea energiei active în rețelele trifazate fără conductor de neutru.

ce sau numerice (fig. II.4.38)

4.4.7. Măsurarea energiilor activă și reactivă

Măsurarea energiilor se realizează cu ajutorul contoarelor.

Energia activă se măsoară cu contoare ale căror cupluri sunt proporționale cu puterea activă. Acestea permit măsurarea energiei active consumate de un receptor, în intervalul de timp $t_2 - t_1$:

$$W_a = P(t_2 - t_1) \qquad (4.4.12)$$

Aceste aparate sunt aparate integratoare care, în afara dispozitivului care măsoară puterea activă, au un dispozitiv care însumează puterea activă consumată într-un interval de timp. În curent continuu, se utilizează contorul electrodinamic, iar în curent alternativ, contorul de inducție.

Contorul electrodinamic (fig. II.4.39) este constituit dintr-o bobină fixă (formată din două bobine identice) traversată de curentul absorbit de consumator. Între cele două semibobine, fixate pe un ax vertical, se dispune bobina mobilă B, care se rotește în două lagăre. Pe ax, este fixat un disc ușor, din aluminiu care se rotește în întrefierul unui magnet permanent. Pe ax, este dispus un colector pe care calcă două perii și un șurub fără sfârșit care antrenează în mișcare un mecanism cu roți dințate. Acesta este mecanismul integrator al numărului de rotații efectuate de discul aparatului. Bobina mobilă în serie cu rezistența adițională r_{ad} și cu bobina de compensație a pierderilor

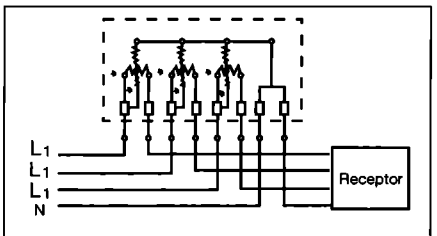


Fig. II.4.43. Măsurarea energiei active în rețelele trifazate cu conductor de neutru.

prin frecări k sunt alimentate cu tensiunea U a rețelei. Bobina traversată de curentul I produce fluxul magnetic:

$$\Phi = kI \qquad (4.4.13)$$

Cuplul activ care acționează asupra echipajului mobil este:

$$M_a = k_a \cdot \Phi \cdot i = k_a \cdot k \cdot I \frac{U}{R} = k_1 \cdot P \qquad (4.4.14)$$

unde:

R - este rezistența totală a circuitului bobinei de tensiune.

Cuplul activ, proporțional cu puterea $P = UI$ consumată de receptor, pune în mișcare de rotație echipajul mobil al contorului.

În discul de aluminiu care se rotește în întrefierul magnetului permanent se induc curenți turbionari (Foucault) care interacționează cu fluxul Φ_M al magnetului permanent, producând un cuplu de frânare, antagonist:

$$M_r = k_r \cdot n \qquad (4.4.15)$$

proporțional cu viteza de rotație n a discului; k, k_a, k_1 și k_r sunt constante ale echipamentului.

La echilibru ($M_a = M_r$) discul are o mișcare uniformă, cu turația:

$$n = \frac{k}{P} \qquad (4.4.16)$$

Energia consumată de receptor în timpul t:

$$W = \int_0^t Pdt = Kn_t \qquad (4.4.17)$$

este proporțională cu numărul de rotații n_t efectuate de disc în acest timp. Constanta K a contorului este indicată pe plăcuța de fabricație.

Contorul de inducție are schema de principiu din fig. II.4.40.

Cuplul activ are expresia:

$$M_a = k_a \cdot I_1 \cdot I_2 \sin \Psi \qquad (4.4.18)$$

unde:

Ψ - este unghiul de defazaj dintre curenții I_1 și I_2.

Deoarece $I_1 = U/R$ și $I_2 = I$, rezultă că:

$$M_a = k_a \frac{U}{R} I \sin \Psi \qquad (4.4.19)$$

Din diagrama de fazori din fig. II.4.41 rezultă că:

$$\Psi = 90 - \varphi, \sin \Psi = \cos \varphi \qquad (4.4.20)$$

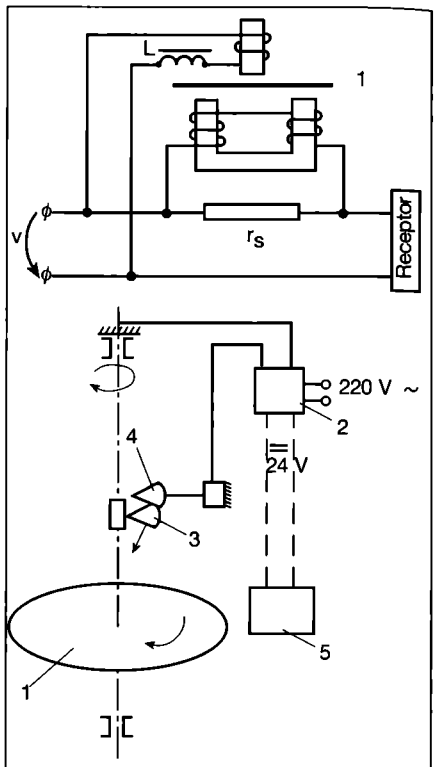


Fig. II.4.44. Principiul de măsurare a energiei reactive:
1 - disc; 2 - releu capacitiv; 3 - paletă mobilă; 4 - paletă fixă; 5 - numărător de impulsuri.

și cuplul activ are expresia:

$$M_a = \frac{k_a}{R} UI \cos \varphi = \frac{k_a}{R} P \qquad (4.4.21)$$

Cuplul rezistent este:

$$M_r = k_r \cdot n \qquad (4.4.22)$$

La echilibrul ($M_a = M_r$) se obține:

$$P = \frac{k_r}{k_a} R \cdot n = K \cdot n \qquad (4.4.23)$$

și

$$W = \int_0^t Pdt = Kn_t \qquad (4.4.24)$$

unde:

K - este constanta contorului [rot/kWh],

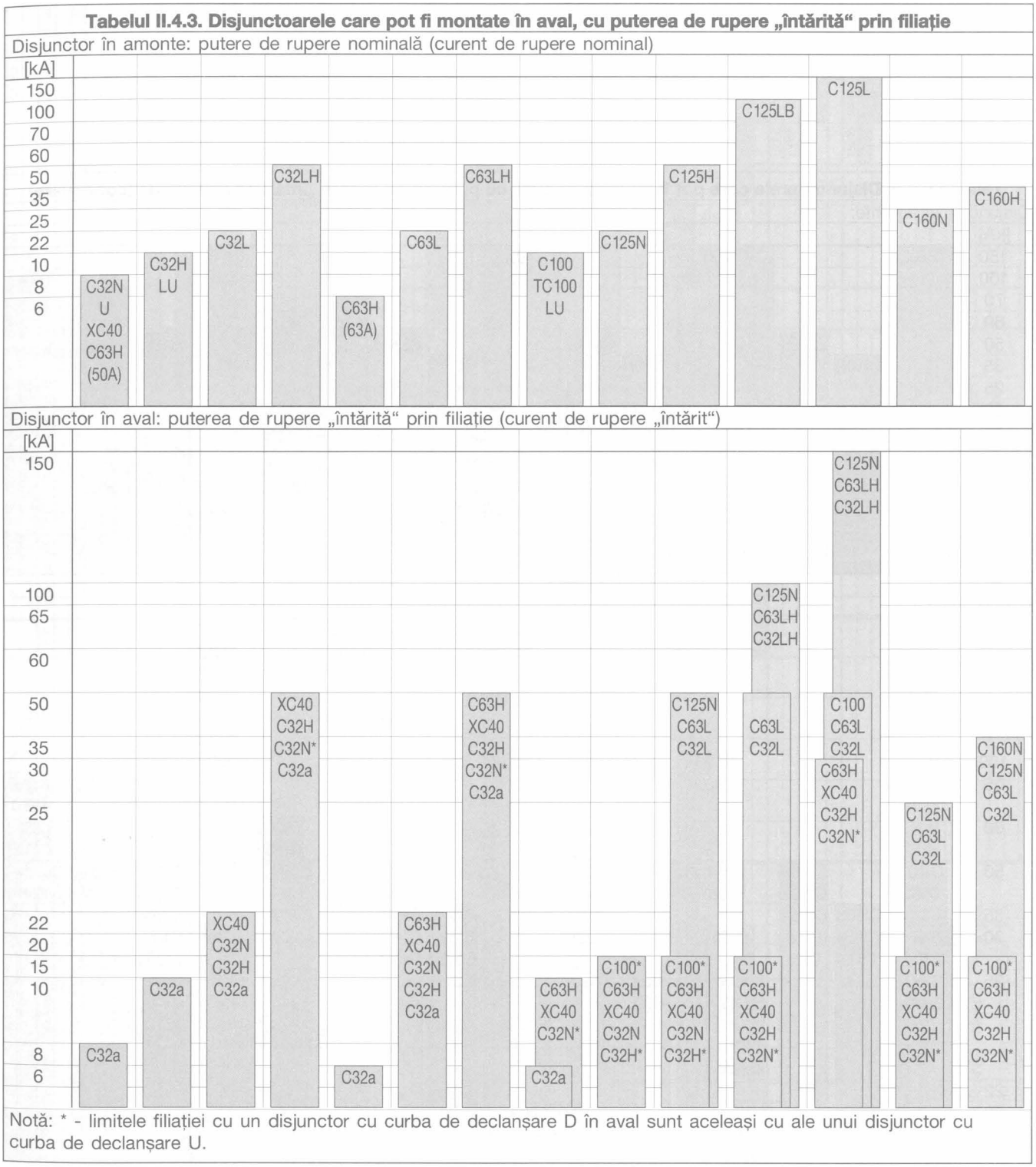
k_a și k_r - sunt constante ale echipamentului.

În rețelele trifazate fără conductor de nul, energia activă se măsoară cu două contoare de inducție legate ca în fig. II.4.42.

În rețelele trifazate cu conductor de nul, pentru măsurarea energiei active se folosește contorul trifazat cu schema de montaj din fig. II.4.43.

Măsurarea energiei reactive se realizează cu contoare de energie reactivă. Construcția acestora este astfel realizată, încât cuplul activ să fie proporțional cu putere reactivă (fig. II.4.44).

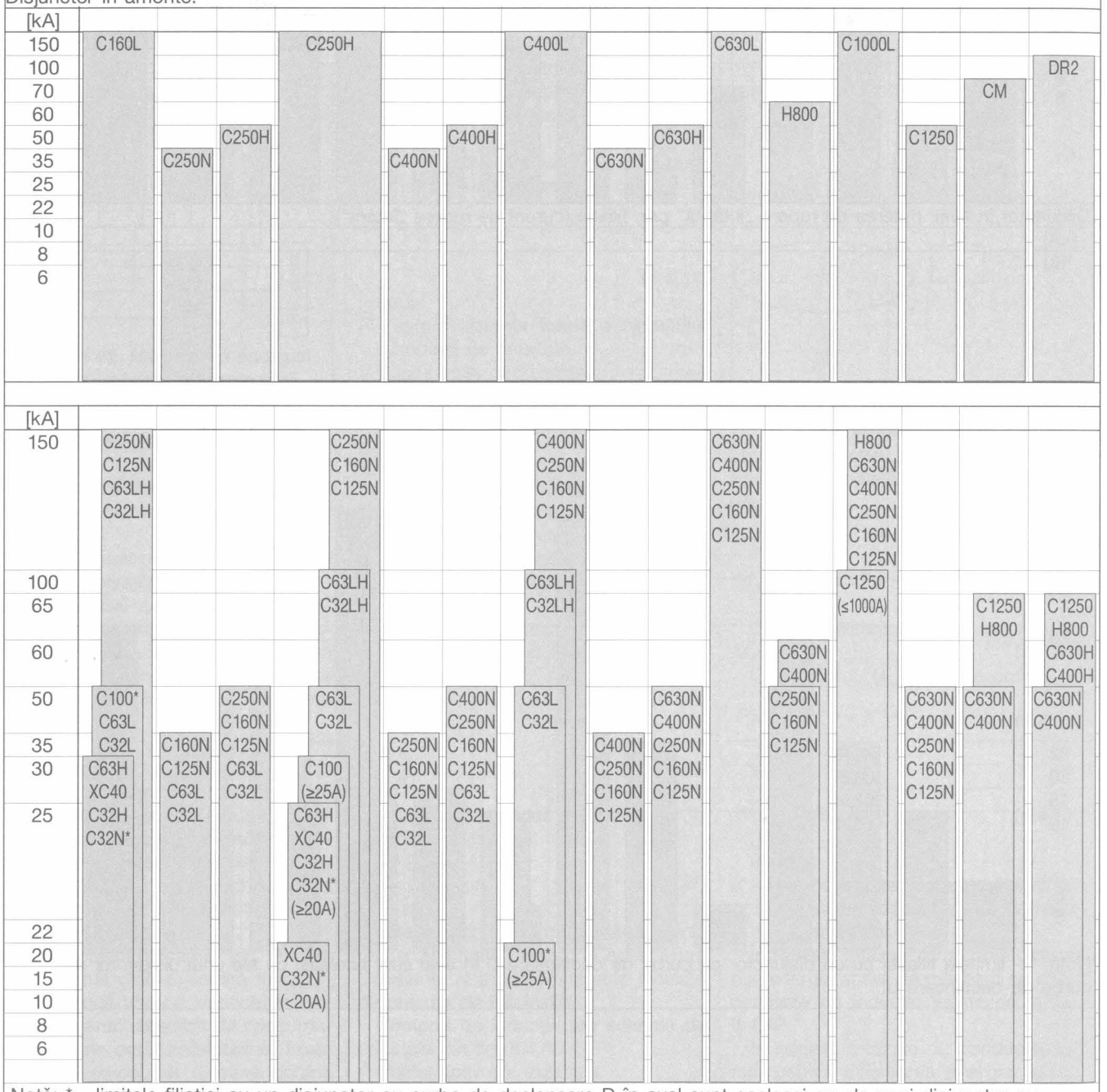
Tabelul II.4.3. Disjunctoarele care pot fi montate în aval, cu puterea de rupere „întărită" prin filiație



Notă: * - limitele filiației cu un disjunctor cu curba de declanșare D în aval sunt aceleași cu ale unui disjunctor cu curba de declanșare U.

Tabelul II.4.3. Disjunctoarele care pot fi montate în aval, cu puterea de rupere „întărită" prin filiație (continuare)

Disjunctor în amonte:



Notă: * - limitele filiației cu un disjunctor cu curba de declanșare D în aval sunt aceleași cu ale unui disjunctor cu curba de declanșare U.

AVAL	AMONTE		C160N/H/L			C250N/H/L				C400N/H/L			C400N/H/L					C6340N/H/L			C630N/H/L					H800				C1250			
			tip SA			tip SA							tip ST204S (de la 0,4 la Ir)					tip SA			tip ST204S (de la 0,4 la Ir)					tip S				tip S			
	In (A)		63	100	160	125	160	200	250	250	320	400	160	200	250	320	400	400	500	630	250	320	400	500	630	320	400	500	630	630	800	1000	1250
DPN	limitează select.	(A)	4000	4000	4000	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
profil L-U	toate mărimile																																
C32a	limitează select.	(A)	2800	2800	2800	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
profil L-U	toate mărimile																																
C32N-C32H	limitează select.	(A)	5000	5000	5000	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
C32L-C32LH	limitează select.	(A)	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
profil L-U-D	toate mărimile																																
Réflex SC40	limitează select.	(A)	4000	4000	4000	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
XC40	toate mărimile																																
C63H →	limitează select.	(A)		5000	5000	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
C63L/LH →	limitează select.	(A)		10000	10000	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	toate mărimile																																
C100-Codis C100	limitează select.	(A)	2800	2800	2800	5000	5000	5000	5000	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
profil L-U-D	cal. Ir (A)	15																															
		20																															
		25																															
		32																															
		40																															
		50/63																															
		80																															
		100																															
C125N →	limitează select.	(A)	2000	2000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	6500	6500	6500	9500	9500	9500	9500	16000	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
C125H →	limitează select.	(A)	2000	2000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	6500	6500	6500	9500	9500	9500	9500	16000	20000	35000	35000	35000	35000	35000	35000	25000	25000	25000	25000	T	T	T	T
C125LB →	limitează select.	(A)	2000	2000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
C125L →	limitează select.	(A)	2000	2000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	T	T	T	30000	30000	30000	30000	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	cal. Ir (A)	16																															
		25																															
		40																															
		63																															
		100																															
		125																															
C160N/H →	limitează select.	(A)	2000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	6000	6000	6000	8000	8000	8000	8000	8000	12000	13000	T	T	T	T	T	T	20000	20000	20000	20000	T	T	T	T
C160L →	limitează select.	(A)	2000	2000	2000	3000	3000	3000	3000	T	T	T	30000	30000	30000	30000	30000	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
	cal. Ir (A)	25																															
		40																															
		63																															
		100					(1)																										
		160																															
C250N/H →	limitează select.	(A)									6000	6000	7500	7500	7500	7500	7500	9000	11000	14000	20000	20000	20000	20000	20000	10000	10000	10000	10000	20000	20000	20000	20000
C250L →	limitează select.	(A)									6000	6000	9000	9000	9000	9000	9000	15000	20000	T	40000	40000	40000	40000	40000	13000	13000	13000	13000	T	T	T	T
	cal. Ir (A)	160																															
		200																															
		250																															
C400N/H →	limitează select.	(A)										6000	6500	6500	6500	6500	6500	9000	9000	10000	13000	13000	13000	13000	13000		7000	7000	7000	16000	16000	16000	16000
C400L →	limitează select.	(A)										6000	7500	7500	7500	7500	7500	10000	10000	12000	22000	22000	22000	22000	22000		9000	9000	9000	20000	20000	20000	20000
	cal. Ir (A)	250																															
		300																															
		400																															
C630N/H →	limitează select.	(A)																			9000	9000	9000	9000	9000					15000	15000	15000	15000
C630L →	limitează select.	(A)																			9000	9000	9000	9000	9000					18000	18000	18000	18000
	cal. Ir (A)	400																															
		500																															
		630																															
H800	limitează select.	(A)																												15000	15000	15000	15000
	cal. Ir (A)	320																															
		400																															
		500																															
		630																															
		800																															
C1000L	limitează select.	(A)																													15000	15000	15000
C1250	cal. Ir (A)	400																															
		500																															
		630																															
		800																															
		1000																															
		1250																															

T - selectivitate totală
- zonă de selectivitate

(1) - selectivitatea se asigură dacă valoarea releului magnetic din amonte/valoarea releului magnetic din aval este mai mare decât 1,5

Tabelul II 4.4. Coordonarea unor disjunctoare SCHNEIDER ELECTRIC, care asigură selectivitatea

II. Instalații electrice

Capitolul 5

Alimentarea cu energie electrică a receptoarelor și consumatorilor de joasă tensiune

Alimentarea cu energie electrică este reglementată, în principal, de „Regulamentul de furnizare a energiei electrice" și de Normativul I - 7.

Consumatorii, în funcție de felul receptoarelor (normale sau vitale) care se află în componența lor pot fi alimentați:
- de la o singură sursă: post de transformare sau cofret de branșament; sursa, la rândul ei, poate fi:
  - sistemul energetic național (SEN),
  - sursă proprie: centrală proprie, grup electrogen, baterie de acumulatori etc.
- de la două sau mai multe surse: una dintre acestea va fi sursa de bază care, de regulă, este sistemul energetic național, indiferent prin câte căi se face alimentarea, iar a doua (sau celelalte) este o sursă proprie: centrală, grup electrogen, baterie de acumulatori etc.

Alimentarea de la o singură sursă se face atunci când receptoarele consumatorului sunt receptoare normale care nu cer siguranță mărită în funcționare. Când se dorește, totuși, o siguranță mai mare în funcționare, dar fără ca receptoarele să se încadreze în categoria de receptoare vitale, alimentarea se face de la o singură sursă, dar pe două sau trei căi de alimentare. În acest fel, la defectarea uneia dintre căi, alimentarea receptoarelor nu se întrerupe, acestea putând fi alimentate prin una din celelalte căi.

Alimentarea de la două sau mai multe surse se utilizează atunci când în componența consumatorului se află receptoare vitale.

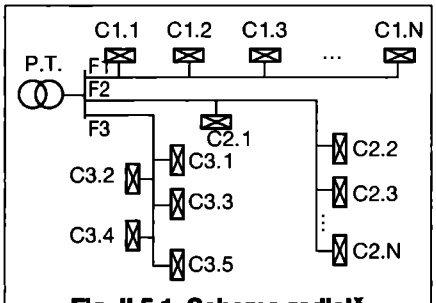


Fig. II.5.1. Schema radială de alimentare:
P.T. - postul de transformare;
F_1, F_2, F_3 - fideri de alimentare;
C1.1, C1.2 ... C3.5 - consumatori.

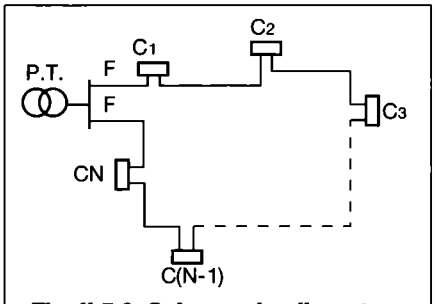


Fig. II.5.2. Schema de alimentare în buclă.

5.1. Scheme de alimentare pentru consumatori cu receptoare normale

Schema radială (sau arborescentă) (fig. II.5.1).

Din postul de transformare pornesc mai multe fidere, fiecare dintre acestea alimentând mai mulți consumatori.

Schema se utilizează pentru alimentarea micilor consumatori, de regulă, casnici, urbani și mai ales rurali sau similari cu aceștia. Este o schemă ce nu asigură siguranță ridicată în funcționare, deoarece întreruperea unuia dintre fidere scoate din funcțiune toți consumatorii din aval de locul defect (în sensul de transport al puterii). De asemenea, schema nu permite extinderi ușoare. La apariția unor consumatori noi, aceștia pot fi racordați numai în măsura în care există disponibil de putere pe fiderul apropiat. Când aceasta nu este posibil, fie se adoptă un nou fider din postul de transformare, atunci când în P.T. există disponibil de putere, fie se construiește un nou P.T. legat la SEN.

Schema de alimentare în buclă (fig. II.5.2.)

Din P.T. pornește un fider (F) ce alimentează consumatorii C_1...C_N și revine în P.T. Astfel, rețeaua de alimentare a consumatorilor este o rețea alimentată la două capete. În acest fel se asigură consumatorilor o siguranță mai mare în funcționare, deoarece în caz de defect (întreruperea fiderului) rețeaua se reduce la două rețele radiale și nici un consumator nu este scos din funcțiune. Atunci când consumatorii sunt răspândiți pe o suparafață mare, se execută două sau mai multe bucle pentru același PT. Fiderele ce formează buclele sunt dimensionate la puterea nominală a PT, astfel că alimentarea unui nou consumator (în limita puterii disponibile) se face ușor, fără a modifica rețeaua de alimentare. În același timp conectarea consumatorilor se face fără secționarea fiderului, ca în cazul utilizării schemei radiale. În acest fel, fiabilitatea rețelei crește deoarece, pe de o parte, punctele de racordare a consumatorilor se află în clădire și nu în sol sau în aer liber, iar, pe de altă parte, izolarea porțiunii defecte (fig. II.5.3) se realizează ușor prin deconectarea acesteia de la capetele ei, prin scoaterea siguranțelor F_1 și F_2.

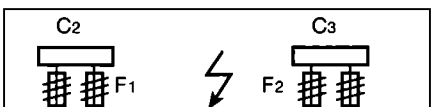


Fig. II.5.3. Porțiune defectă dintr-o rețea alimentată în buclă.

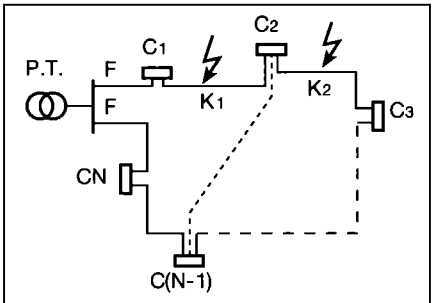


Fig. II.5.4. Schema de alimentare în buclă îmbunătățită.

Pentru a mări și mai mult siguranța în alimentare a unor consumatori (cum ar fi, de exemplu, un spital, o centrală termică de cartier etc.), se execută legături suplimentare în interiorul buclei (fig. II.5.4). Aceeași rețea din fig. II.5.2 are o legătură suplimentară între consumatorii C_2 și $C_{(N-1)}$. În acest fel, chiar dacă ar avea loc două defecte simultan în K_1 și K_2 și consumatorul C_2 ar fi scos din funcțiune, prin legătura suplimentară realizată acesta este în continuare alimentat cu energie electrică pe traseul PT, CN, $C_{(N-1)}$, C_2.

În prezent asemenea scheme de alimentare sunt foarte mult folosite în alimentarea micilor consumatori urbani. Marii consumatori au unul sau mai multe posturi de transformare proprii.

Echiparea cofretelor de branșament la rețeaua de joasă tensiune este tipizată. Aceasta este prezentată în fig. II.5.5.

În funcție de soluția de alimentare a consumatorului, ca și de configurația rețelei de alimentare, se alege una din soluțiile indicate în fig. II.5.5. La alegere se va ține seama și de eventualele extinderi viitoare, atunci când acestea pot fi anticipate, astfel încât în cofret să se găsească rezervele necesare.

5.2. Branșarea consumatorilor casnici la SEN

Aceasta se face de la un cofret de branșament în funcție de numărul de apartamente din clădire.

Pentru blocurile de locuit cu număr mare de apartamente se adoptă câte un cofret de branșament pentru fiecare scară a blocului. Confretul se montează într-o firidă la parter. Tipul acesteia (fig. II.5.5) se alege în funcție de numărul de apartamente și de configurația rețelei exterioare. Apartamentele (consumatorii) nu se leagă direct la cofret. Legătura la acesta se realizează prin intermediul unei firide de distribuție (fig. II.5.6).

Firidele de distribuție se execută în două variante constructive, de:
- 600 x 400 x 200 mm echipate cu maximum 12 siguranțe fuzibile de 25 A;
- 600 x 600 x 200 mm echipate cu maximum 20 siguranțe fuzibile de 25 A.

Consumatorii casnici urbani individuali (tip vilă sau gospodărie individuală) se conectează la SEN printr-un confret de branșament de 400x600x200 mm, cu o echipare asemănătoare cu a firidei de distribuție din fig. II.5.6. Numărul de siguranțe este în funcție de numărul de apartamente distincte ce formează consumatorul.

Consumatorii casnici rurali se conectează la SEN, de regulă, printr-un racord aerian mono sau trifazat în funcție - de puterea cerută și felul receptoarelor din gospodărie (fig. II 5.7).

Cablurile electrice de racord sunt aduse la clădire, unde fie sunt susținute de izolatoare montate pe zidul casei (fig. II.5.7), fie sunt trecute printr-un suport de trecere. În firida de branșament se află una sau trei siguranțe de 25 A, în funcție de tipul racordului (mono sau trifazat).

Racordarea consumatorilor casnici se va face respectând și SR234-2008.

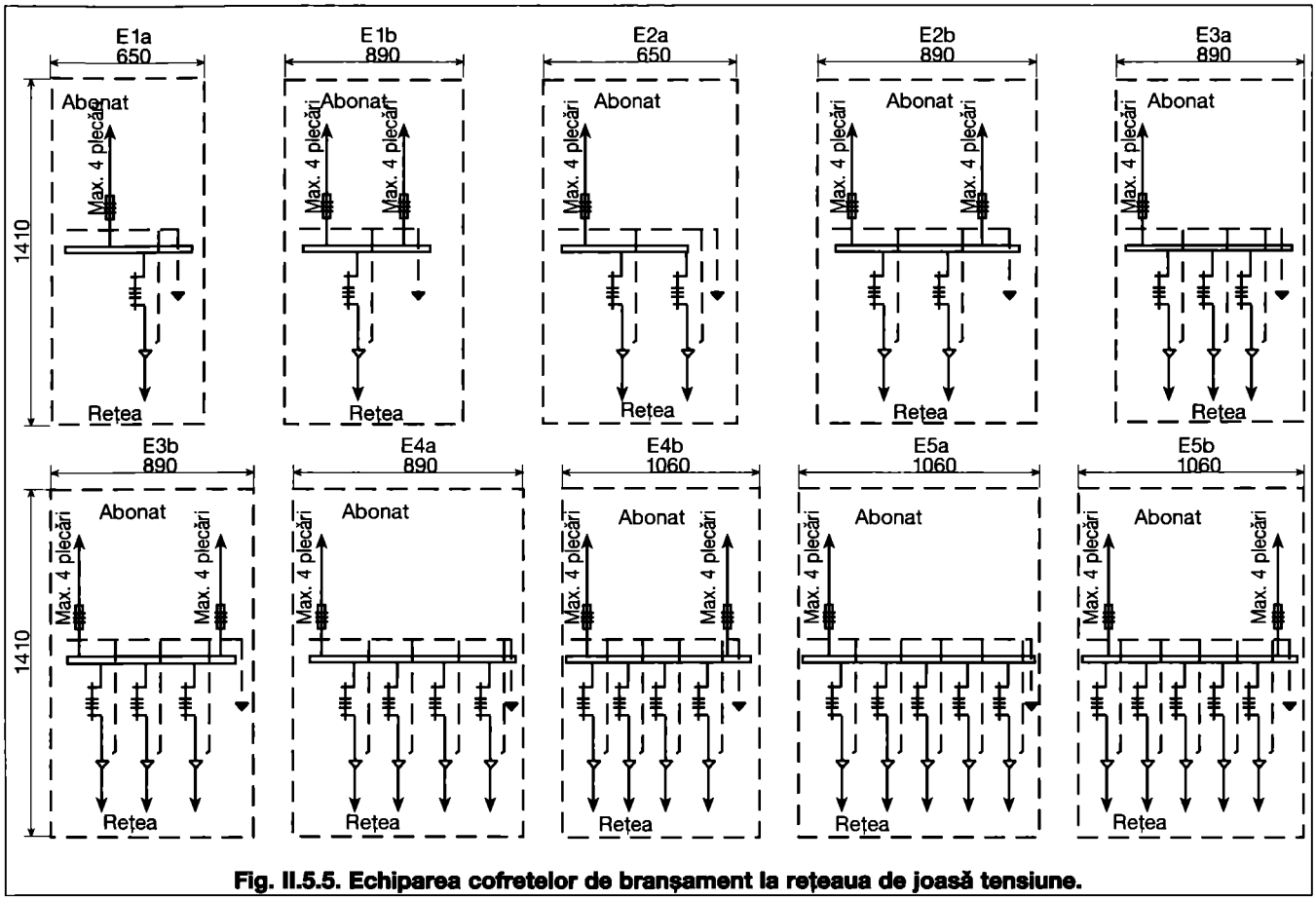


Fig. II.5.5. Echiparea cofretelor de branșament la rețeaua de joasă tensiune.

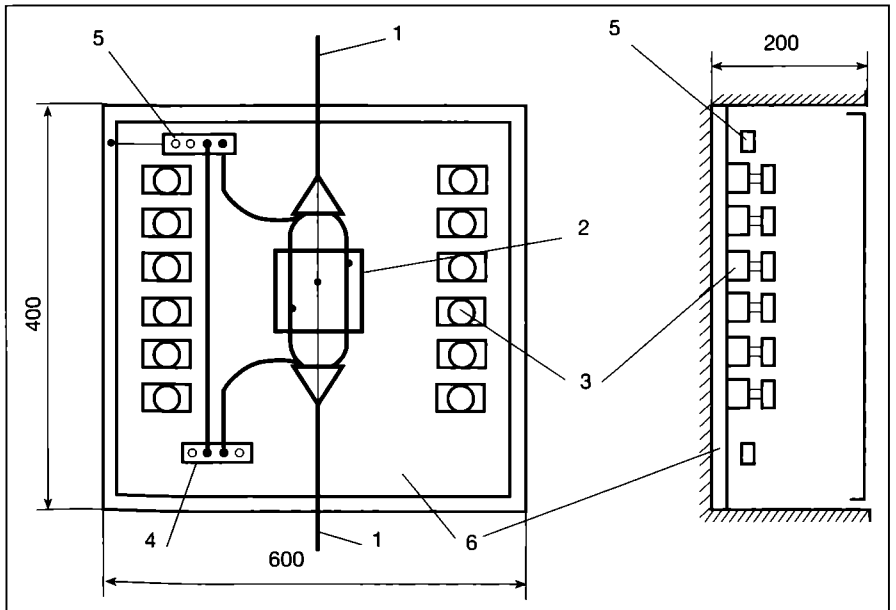


Fig. II.5.6. Echiparea unei firide de distribuție a energiei electrice dintr-un bloc de locuințe:

1 - coloană; 2 - placă din marmură pentru derivații; 3 - siguranțe fuzibile de 25 A; 4 - bară de nul de lucru; 5 - bară de nul de protecție; 6 - placă din lemn geluit.

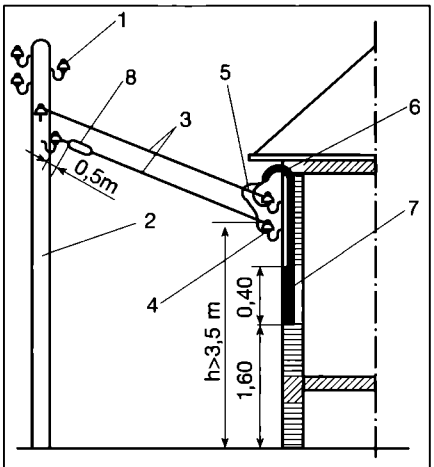


Fig. II.5.7. Racordarea consumatorilor casnici rurali la SEN:

1 - izolatori pentru linia aeriană; 2 - stâlp de susținere; 3 - conducte de racord; 4 - izolatoare pe clădire; 5 - conducte către blocul de măsură și protecție (BMP); 6 - tub metalic de protecție; 7 - BMP; 8 - siguranță de protecție.

5.3. Alimentarea receptoarelor electrice normale cu energie electrică

Receptoarele electrice sunt alimentate cu energie electrică prin circuite electrice mono sau trifazate - în funcție de tipul receptorului - legate la tablourile electrice.

Tablourile electrice sunt părți din instalația electrică în care se realizează distribuția energiei electrice. Totodată în acestea se montează și echipamentele electrice pentru: acționare, protecție, măsură, comandă, automatizare etc., în funcție de complexitatea tabloului.

În funcție de poziția în distribuția energiei către receptoare, se deosebesc următoarele tipuri de tablouri electrice:

- *general*, care este legat direct la un post de transformare sau la un cofret de branșament printr-o coloană generală. Acesta distribuie energia electrică către toate receptoarele din clădire prin intermediul altor tablouri;
- *principal*, care este legat la tabloul general și distribuie energia către receptoare prin intermediul unor tablouri secundare; legătura dintre tablourile principale și tabloul general se face prin coloane principale;
- *secundare*, care asigură distribuția energiei electrice direct la receptoare prin circuite electrice; legătura de la tablourile principale se face prin coloane secundare.

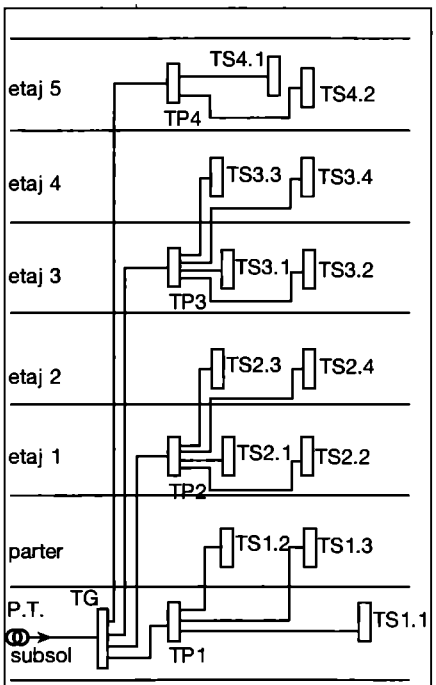


Fig. II.5.8. Schemă de distribuție radială cu coloane simple:
PT - post de transformare;
TG - tablou general; TP - tablou principal; TS - tablou secundar.

În instalațiile electrice cu un număr redus de receptoare (mici consumatori) pot să lipsească o parte din categoriile de tablouri menționate.

În funcție de siguranța dorită în alimentarea cu energie electrică a unora dintre receptoare, de dezvoltarea pe orizontală și înălțime a clădirii consumatorului, de distanțele dintre diferite grupe de receptoare, distribuția energiei electrice în interiorul consumatorului poate fi:

- *distribuție radială cu coloane simple* (fig. II.5.8); postul de transformare din fig. II.5.8 poate fi înlocuit cu un cofret de branșament montat la parterul construcției.

Schema se utilizează pentru distribuția energiei electrice către receptoarele unui mare consumator, dezvoltat atât pe verticală cât și pe orizontală.

Schema radială cu coloane simple pentru mici consumatori se simplifică și se poate reduce la forma din fig. II.5.9.

Tabloul general alimentează direct tablourile secundare TS și acestea, la rândul lor, receptoarele electrice.

Distribuția radială cu coloane simple este mult utilizată în proiectarea instalațiilor electrice, având câteva avantaje:

- este simplu de executat;
- permite identificarea rapidă a unui eventual defect;
- asigură o bună siguranță în alimentarea receptoarelor.

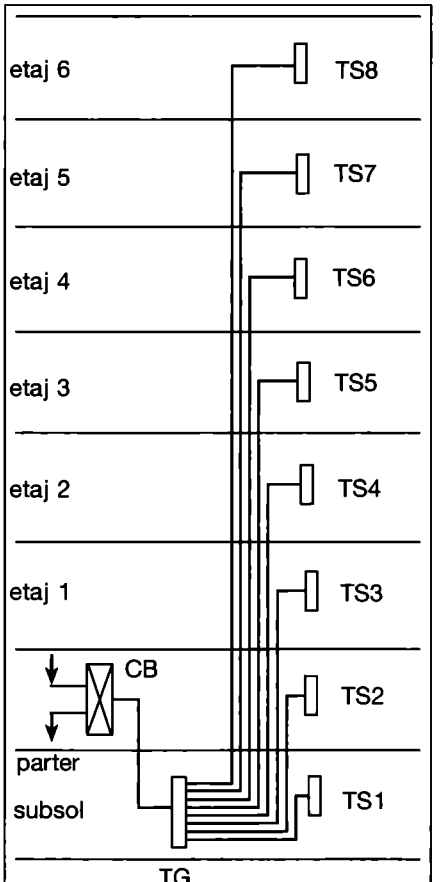


Fig. II.5.9. Schema de distribuție radială fără tablouri principale.

Dintre dezavantaje pot fi menționate:

- număr mare de coloane;
- echipamente multe în tablourile electrice - în special, la cel general și la cele principale (când este cazul).

- *distribuție radială cu coloane magistrale* (fig. II.5.10): se utilizează atunci când tablourile secundare au un număr mic de circuite și o putere, de asemenea, redusă (P_i = *5...8* kW). Astfel, o coloană radială alimentează 2 - 3 tablouri secundare. Numărul de coloane magistrale poate fi stabilit printr-un calcul tehnico - economic. Este bine însă ca o coloană magistrală să nu depășească o putere instalată de 25 - 30 kW și nici să nu asigure distribuția energiei pe o arie mare din clădire.

Astfel de distribuții sunt mai economice față de cele anterioare, dar oferă o mai mică siguranță în funcționare în alimentarea receptoarelor.

Un defect pe una din coloane va scoate din funcțiune un număr mare de receptoare.

- *distribuție în buclă* (fig. II.5.11).

Distribuția realizează o foarte bună siguranță în alimentarea receptoarelor, deoarece un defect pe coloana de alimentare este ușor de izolat fără a afecta funcționarea tablourilor electrice (prin deschiderea adecvată a întreruptoarelor aflate de o parte și de alta a locului defect).

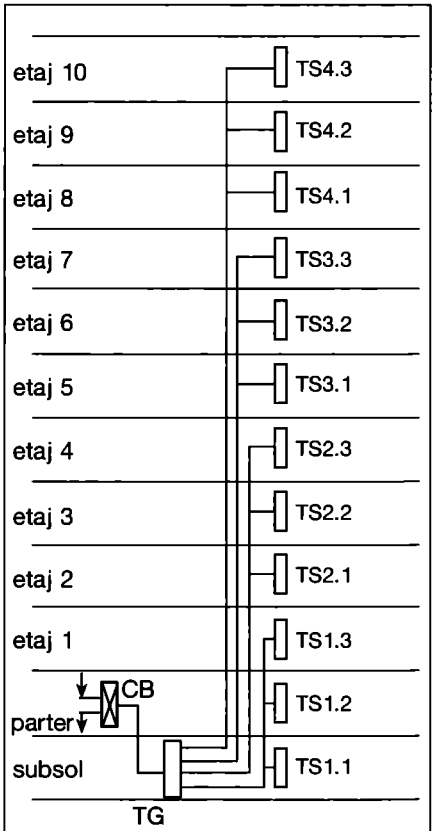


Fig. II.5.10 Schema de distribuție radială cu coloane magistrale:
CB - cofret de branșament; TG - tablou general; TS - tablou secundar.

De asemenea, un defect (scurtcircuit) pe unul din circuitele tabloului electric, este izolat fie de siguranța aflată pe circuit, fie de siguranța generală a tabloului (F3.1.1).

Dezavantajele soluției sunt:
- coloana generală trebuie dimensionată la puterea totală a TG; va avea dimensiuni și costuri mari;
- tablourile se măresc datorită întreruptoarelor necesare pe traseul coloanei generale, în amonte de fiecare tablou.

De aceea, astfel de soluții se adoptă atunci când ele sunt bine justificate din punct de vedere economic (o parte din instalațiile electrice din spitale, centre de calcul importante etc.).

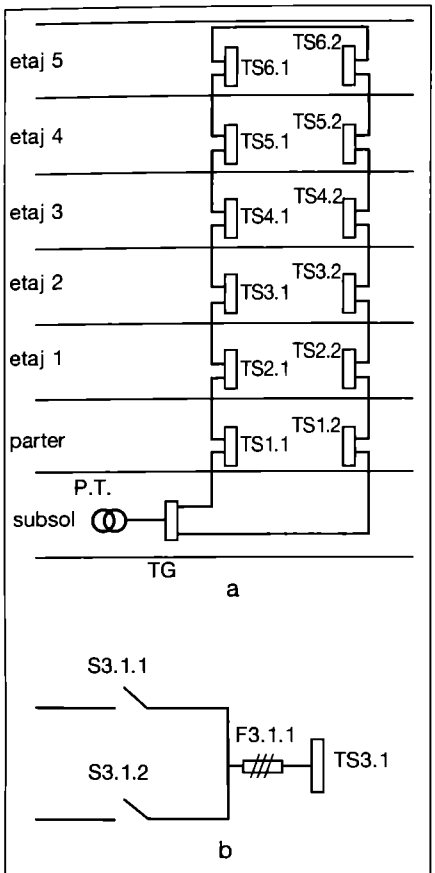


Fig. II.5.11. Schemă de distribuție în buclă:
a - schema generală;
b - detaliu de legare a unuia dintre tablourile electrice.

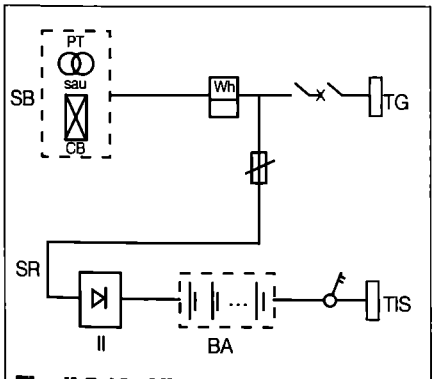


Fig. II.5.12. Alimentarea iluminatului de siguranță în varianta 1a:
SB - sursă de bază; SR - sursă de rezervă; TG - tablou general; II - instalație de încărcare; BA - baterie de acumulatoare; TIS - tablou pentru iluminatul de siguranță.

5.4. Alimentarea receptoarelor electrice vitale (preferențiale și critice)

În funcție de importanța lor, receptoarelor vitale li se asigură două sau mai multe surse de alimentare. De asemenea, alimentarea de la fiecare sursă se poate face prin una sau două căi.

Receptoarele vitale cele mai frecvent întâlnite în instalațiile electrice de joasă tensiune sunt: corpurile de iluminat ce formează iluminatul de siguranță și pompele utilizate pentru stingerea incendiului.

a. Alimentarea receptoarelor pentru iluminatul de siguranță

În funcție de condițiile de alimentare și de funcționare, alimentarea receptoarelor pentru iluminatul de siguranță se poate face în următoarele variante:

Varianta 1, la care alimentarea de bază se face de la SEN, iar alimentarea de rezervă se asigură dintr-o sursă de intervenție ce poate fi:

1a - baterie centrală de acumulatoare - legată permanent la instalația de încărcare, cu funcționare în tampon (fig. II 5.12);

Aparatele de iluminat de siguranță la care alimentarea este în varianta 1a trebuie să fie permanent în funcțiune pe toată perioada în care sunt prezente persoane în încăperile sau pe căile de evacuare din clădirea respectivă.

1b - grup electrogen - permanent în rotație (fig. II 5.13);

În acest caz se admite ca iluminatul să fie în mod normal alimentat din SEN (PT sau CB) dacă se îndeplinesc simultan următoarele condiții:
- alimentarea cu energie electrică se face dintr-un punct de primire și pe o cale de alimentare, diferite de cele ale iluminatului normal;
- la căderea alimentării din SEN să se asigure trecerea automată pe alimentarea din grup cu o durată de comutare de cel mult 0,5 secunde.

Alimentarea în varianta 1a presupune ca lămpile sistemelor de iluminat de siguranță să fie:
- incandescente, pentru a putea fi alimentate în curent continuu;
- fluorescente (de regulă, de putere mică), prevăzute cu convertor de transformare a c.c în c.a. de frecvență corespunzătoare sursei.

Alimentarea în varianta 1b presupune existența la consumator și a unor receptoare vitale, altele decât cele ale

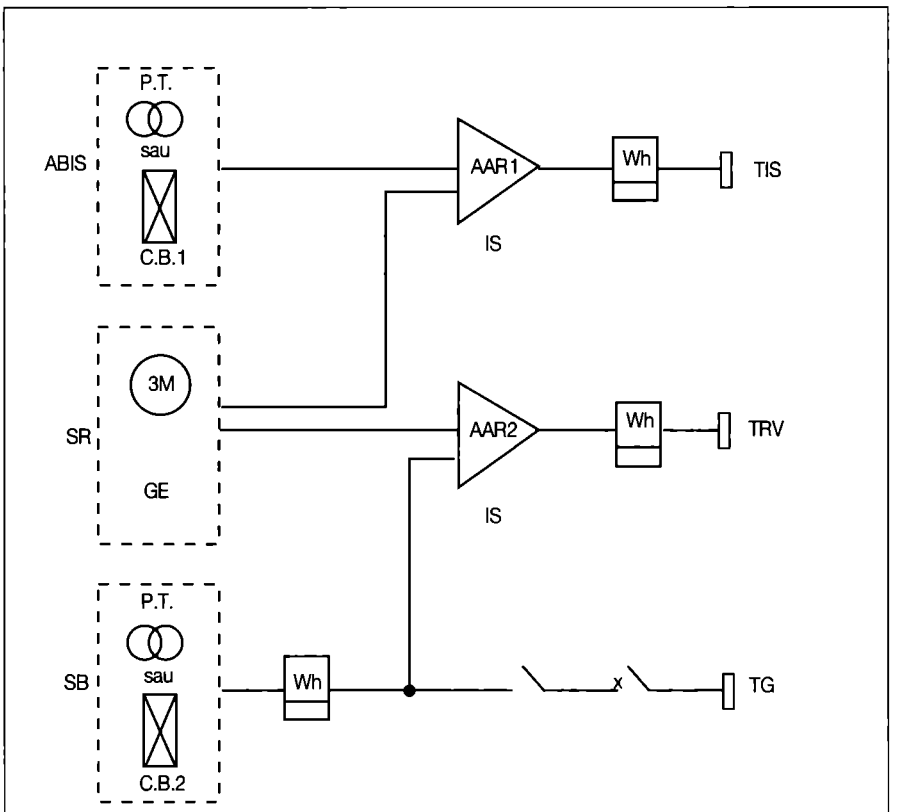


Fig. II.5.13. Schemă de alimentare a iluminatului de siguranță în varianta 1b:
ABIS - alimentare de bază pentru iluminatul de siguranță; SR - sursă de rezervă; SB - sursă de bază; IS - inversor de sursă; TIS - tablou pentru iluminatul de siguranță; TRV - tablou receptoare vitale; TG - tablou general (receptoare normale); GE - grup electrogen.

iluminatului de siguranță.

Varianta 2, la care alimentarea de rezervă cu energie electrică trebuie să fie asigurată de una din următoarele surse:

2a - baterie centrală de acumulatoare (fig. II 5.14 a);

2b - grup electrogen cu pornire automată (aflat în stare „caldă") (fig. II 5.14 b);

Durata de comutare admisă pentru conectarea iluminatului de siguranță este între 0,5 - 5 s.

Lămpile iluminatului de siguranță pentru continuarea lucrului pot să nu fie în funcțiune atunci când sunt prezente persoane în încăperile din clădirea în care este prevăzut acest sistem de iluminat dacă limentarea se face în varianta 2a sau 2b.

Lămpile iluminatului de siguranță pentru evacuare trebuie să fie în funcțiune pe toată durata cât sunt persoane în clădirea în care este prevăzut acest iluminat.

Varianta 3, la care alimentarea cu energie electrică trebuie să fie asigurată de la una din următoarele surse:

- baterii locale de acumulatoare (de exemplu, luminoblocuri prevăzute cu dispozitiv de comutare automată pe baterii - fig. II 5.15).

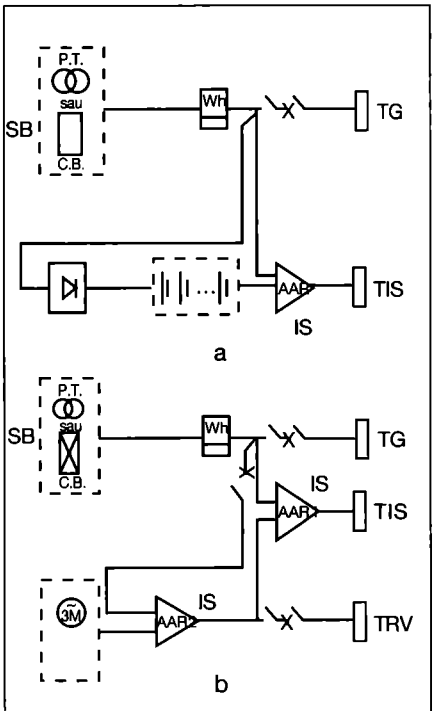


Fig. II.5.14. Alimentarea iluminatului de siguranță în variantă 2 cu sursă de rezervă:
a - baterie centrală de acumulatoare; b - grup electrogen cu pornire automată - aflat în stare caldă;
SB - sursă de bază; TG - tablou general; IS - inversor sursă; TIS - tablou pentru iluminat de siguranță; TRV - tablou pentru receptoare vitale.

Durata de comutare admisă pentru conectarea pe sursa de rezervă este de cel mult 0,5 s.

Lămpile iluminatului de siguranță pentru evacuare trebuie să fie în funcțiune pe toată durata cât sunt persoane în clădirea în care este prevăzut acest iluminat, dacă alimentarea este realizată în varianta 3.

Varianta 4, la care alimentarea cu energie electrică a iluminatului de siguranță se poate face din coloana tabloului general (sau principal) sau din cea de forță din fața întreruptorului general sau a siguranțelor generale, în lipsa acestuia (fig. II.5.16).

Punerea în funcțiune a lămpilor iluminatului de siguranță se face în aceleași condiții ca și pentru iluminatul normal (de exemplu, întreruptoare locale, automate de scară etc.).

b. Alimentarea tablourilor pentru pompele de incendiu

O categorie importantă de receptoare critice pentru clădiri este aceea a pompelor de incendiu. Numărul și condițiile de funcționare a acestora sunt stabilite de tehnologul ce execută instalațiile hidraulice. Aceste receptoare sunt alimentate dintr-un tablou distinct, tabloul pentru pompele de incendiu.

Alimentarea tabloului pompelor de incendiu se poate face:

1. *Pe o singură cale de alimentare:*

- din coloana tabloului general, înaintea întreruptorului general (fig. II.5.17 a) sau
- dintr-un post de transformare (sau cofret de branșament) distinct de cel care alimentează tabloul general (fig. II.5.17 b).

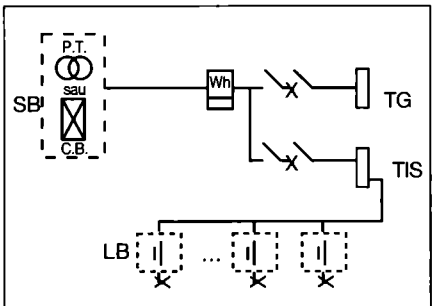


Fig. II.5.15. Alimentarea iluminatului de siguranță în varianta 3:
SB - sursa de bază; TG - tablou general; TIS - tablou pentru iluminatul de siguranță; LB - luminoblocuri.

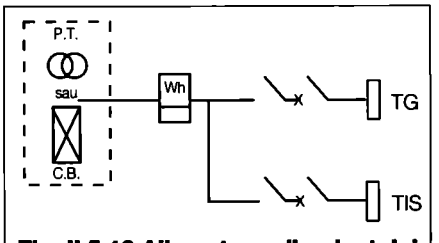


Fig. II.5.16 Alimentarea iluminatului de siguranță în varianta 4:
TG - tablou general; TIS - tablou pentru iluminatul de siguranță.

Soluția se utilizează de regulă în următoarele cazuri:

- la consumatori la care nu se prevăd pompe de rezervă;
- la consumatori la care se prevăd pompe de rezervă, dar acestea sunt acționate manual;
- locuințe cu mai puțin de 11 etaje;
- clădiri administrative cu până la 400

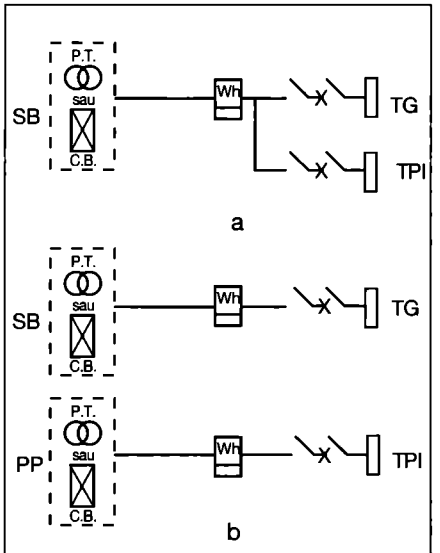


Fig. II.5.17. Alimentarea pe o singură cale a tabloului pompelor pentru incendiu:
a - din coloana tabloului general, înaintea întreruptorului general; b - dintr-un post de transformare (sau cofret de branșament) distinct de cel care alimentează tabloul general.
SB - sursa de bază; PP - punct de primire; TG - tabloul general; TPI - tablou pompe pentru incendiu.

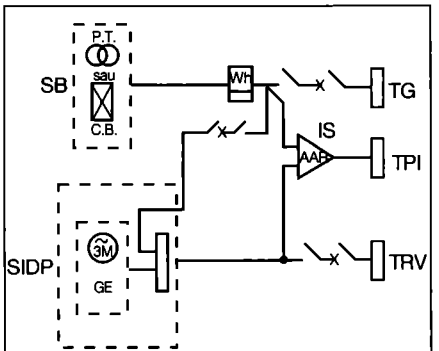


Fig. II.5.18. Alimentarea pe două căi a tabloului pompelor pentru incendiu:
SB - sursa de bază; SIDP - sursa de intervenție, inclusiv dulap pornire și comutație automată; TG - tablou general; IS - inversor de sursă; TPI - tablou pompe pentru incendiu; TRV - tablou alte receptoare vitale; GE - grupe electrogen.

de persoane;
- clădiri pentru birouri cu înălțime sub 28 m.

2. *Pe două căi de alimentare*

Una din căi este de la SEN (de la sursa de bază sau un punct de primire, ca în cazul alimentării pe o singură cale) și cea de a doua, de la o sursă de intervenție (grup electrogen). Comutarea de pe sursa de bază pe cea de intervenție se face automat, prin sisteme AAR (inversor de sursă - fig. II.5.18).

În condițiile în care nu există și alte receptoare vitale, grupul electrogen alimentează direct tabloul pompelor de incendiu.

II. Instalații electrice

Capitolul 6
Calculul instalațiilor electrice de joasă tensiune

Acesta cuprinde:
- calculul curentului nominal al circuitelor și coloanelor electrice, curent ce stă la baza întregului calcul;
- alegerea secțiunii conductelor sau cablurilor electrice pentru condițiile concrete de utilizare (regim permanent sau intermitent) și de montare (în tuburi de protecție, în aer, în sol etc.);
- verificarea secțiunii alese la regimurile anormale de funcționare: regim de scurtă durată (pornirea motoarelor sau scurtcircuit), pierdere de tensiune;
- alegerea tuburilor de protecție pentru conductele electrice ale circuitelor și coloanelor;
- alegerea aparatelor de acționare, de protecție și de măsură.

Caracteristicile stabilite prin calcule pentru toate echipamentele ce compun instalațiile electrice se înscriu în schemele și planurile instalațiilor respective.

6.1. Calculul curentului nominal pentru circuite și coloane

- Circuite monofazate pentru receptoare de lumină

Curentul nominal se determină cu relația:

$$I_n = \frac{P_i}{U_f \cos\varphi} \qquad (6.1.1)$$

unde:

P_i - este puterea instalată a receptoarelor de lumină.; aceasta nu poate depăși 3 kW, iar pe circuit pot fi conectate cel mult 30 de aparate de iluminat; în practică, puterea instalată pe un circuit monofazat este 1200 - 1500 W, alimentând 12-15 aparate de iluminat. Pentru locuințe se prevede:
- maximum 12 aparate de iluminat cu $P_i \leq 1{,}5$ kW pentru apartamentele la care puterea instalată este de 6 kW;
- maximum 12 aparate de iluminat cu $P_i \leq 1{,}0$ kW pentru apartamentele la care puterea instalată este de 4 kW;
- pentru circuitele de lumină din spațiile comune ale acestora (holuri, scări etc.) se pot prevedea cel mult 15 corpuri de iluminat cu $P_i \leq 1{,}0$ kW;

- U_f - 220 V, tensiunea de fază;
- $\cos\varphi$ - factorul de putere al receptoarelor circuitului.

Dacă receptoarele sunt numai lămpi incandescente $\cos\varphi = 1$, iar dacă sunt lămpi fluorescente sau lămpi cu descărcare $\cos\varphi = 0{,}95$. În acest ultim caz, lămpile trebuie prevăzute cu condensatoare pentru ameliorarea factorului de putere, astfel $\cos\varphi \approx 0{,}55$ și instalația va funcționa în suprasarcină.

La lămpile incandescente puterea instalată este identică cu puterea activă absorbită de acestea.

La lămpile cu descărcare puterea instalată este formată din:

$$P_i = P_{nl} + P_{nb} \qquad (6.1.2)$$

unde:

P_{nl} - este puterea nominală a lămpii;

P_{nb} - puterea nominală a balastului corespunzător.

Exemplu de calcul 1. Un circuit electric de lumină ce alimentează 10 aparate de iluminat FIAG - 240 va avea puterea instalată:

$P_i = 10x2(P_{nl} + P_{nb}) = 10x2(40+10) = 1000$ W

Curentul nominal al circuitului va fi:

$I_n = 1000/(220 \cdot 0{,}95) = 4{,}78$ A

- Circuite trifazate pentru receptoare de lumină

Curentul nominal este:

$$I_n = \frac{P_i}{\sqrt{3}U\cos\varphi} \qquad (6.1.3)$$

unde:

P_i - este puterea instalată a circuitului trifazat; aceasta nu poate depăși 8 kW, iar pe fiecare fază nu vor fi alimentate mai mult de 30 de aparate de iluminat;

U = 380 V, tensiunea de linie;

$\cos\varphi$ - factorul de putere al circuitului; acesta se determină în același fel ca în cazul circuitelor monofazate.

Circuitele de lumină trifazate sunt utilizate în cazurile în care sistemele de iluminat sunt formate dintr-un număr mare de aparate de iluminat: sală de spectacol, sală de sport etc. De asemenea, circuitul trifazat se mai utilizează atunci când se dorește eliminarea efectului stroboscopic al lămpilor cu descărcare din încăperile în care există corpuri în mișcare cu viteză mare (săli de sport). În aceste cazuri lămpile din aparatele de iluminat alăturate se alimentează pe faze diferite sau chiar lămpile din același aparat pot fi legate pe faze diferite, cu atenția cuvenită pentru evitarea unor conexiuni incorecte ce pot genera scurtcircuite sau chiar puneri sub tensiune.

- Circuite monofazate de forță și prize

Aceste circuite sunt folosite pentru alimentarea unor receptoare de forță monofazate - fie direct, fie printr-un racord flexibil de la o priză.

Curentul nominal este:

$$I_n = \frac{P_i}{U_f \cdot \eta \cdot \cos\varphi} \qquad (6.1.4)$$

unde:

P_i - puterea instalată (putere mecanică) a receptorului de forță;

$\cos\varphi$ - factorul de putere al acestuia;

η - randamentul receptorului.

- Circuite monofazate de prize, atunci când prizele sunt de utilizare generală.

Normativul I-7 stabilește următoarele condiții pentru aceste circuite:
- pe un circuit se prevede maximum 15 prize simple sau duble, cu excepția locuințelor;
- în locuințe, circuitul de prize va alimenta maximum 8 prize simple sau duble, iar pentru racordarea receptoarelor cu putere mare - mașina de spălat rufe, mașina de spălat vase, mașina de gătit etc. - se vor prevedea circuite separate pentru fiecare din aceste receptoare;
- puterea instalată pe un circuit de priză se consideră P_i = 2 kW.

Curentul nominal se determină cu relația 6.1.4 unde $\cos\varphi$ și η pot lua, cu o bună aproximare, valoarea 0,8.

- Circuite trifazate pentru receptoare de forță

Astfel de circuite asigură alimentarea, de regulă, a unui singur receptor de forță. În condiții speciale, pe astfel de circuite, se pot alimenta mai multe receptoare trifazate, de putere mică, cu aceeași utilizare și în număr limitat.

Curentul nominal se determină cu relația:

$$I_n = \frac{P_i}{\sqrt{3}U \cdot \eta \cdot \cos\varphi} \qquad (6.1.5)$$

unde:

P_i - este puterea instalată (puterea mecanică) a receptorului de forță. În cazul în care P_i reprezintă puterea electrică activă, din relație lipsește randamentul η;

$\cos\varphi$ și η - sunt factorul de putere și randamentul receptorului în regim normal de funcționare.

În cazul în care receptorul nu funcționează în regim nominal ci în subsarcină, relația 6.1.5 devine:

$$I_n = \frac{c_i P_i}{\sqrt{3}U \cdot \eta_i \cdot \cos\varphi_i} \qquad (6.1.6)$$

unde:

c_i - este coeficientul de încărcare reală al receptorului. Acesta este stabilit cu ajutorul tehnologului;

$\cos\varphi_i$ și η_i - sunt factorul de putere și randamentul corespunzătoare încărcării reale a receptorului.

- Coloane monofazate pentru tablourile de lumină

Acestea sunt utilizate pentru alimentarea tablourilor electrice de lumină, de mică putere, cum ar fi cele din clădirile de locuit, clădirile administratice etc. Curentul nominal se determină cu relația 6.1.1 în care P_i este puterea instalată a tabloului.

- Coloane trifazate pentru tablourile de lumină

Curentul nominal se determină cu relația 6.1.3 în care P_i este puterea instalată a tabloului de lumină, putere uniform

distribuită pe faze. Aceasta rezultă din însumarea puterilor instalate ale circuitelor electrice alimentate din tablou.

Exemplu de calcul 2. Un tablou electric de nivel are puterea instalată (electrică activă) $P_i = 12,4$ kW și alimentează, în principal, lămpi cu descărcare, cu factorul de putere $\cos\varphi = 0,95$. Curentul nominal rezultă aplicând relația 6.1.3.

$$I_n = \frac{12400}{\sqrt{3}\cdot 380\cdot 0,95} = 19,8 \text{ A}$$

Pentru coloanele magistrale, coloanele firidelor de alimentare din clădirile de locuit sau coloanele tablourilor generale relația 6.1.3 devine:

$$I_n = \frac{c_s P_i}{\sqrt{3}U\cos\varphi} \qquad (6.1.7)$$

unde:

c_s - este coeficientul de simultaneitate al receptoarelor alimentate de coloană; câteva valori ale coeficientului de simultaneitate:
- clădiri civile și industriale $c_s = 0,8...0,9$;
- tablourile iluminatului de siguranță $c_s = 1$;
- coloanele firidelor de distribuție din clădirile de locuit, în funcție de numărul de apartamente, au valorile din tabelul II.6.1.

De cele mai multe ori c_s nu este normat și este apreciat de proiectant sau tehnolog.

Un caz particular îl prezintă coloanele tablourilor de lumină și prize în care prizele au o putere comparabilă cu cea a receptoarelor de lumină. Puterea circuitelor se distribuie uniform pe fazele tabloului, dar fiecare fază va avea un număr diferit de circuite de priză și, respectiv, lumină. Este necesar să se calculeze curentul nominal pe fiecare fază a tabloului sau numai pe faza pe care puterea prizelor este cea mai mare, deoarece pe această fază, curentul va fi cel mai mare și acest curent va fi luat în considerare pentru alegerea secțiunii.

Receptoarele de lumină funcționează cu factor de putere $\cos\varphi_1 = 0,95$ sau 1, în timp ce pentru circuitele de priză trebuie luat în calcul atât faptul că acestea au atât randamentul subunitar (de regulă, $\eta_P = 0,8$), cât și un factor de putere mai scăzut (de cele mai multe ori $\cos\varphi_P = 0,8$).

Curentul nominal pe fiecare fază se va determina cu relația:

$$I_n = \sqrt{I_{na}^2 + I_{nr}^2} \qquad (6.1.8)$$

unde:

I_{na} și I_{nr} - sunt componentele activă și reactivă ale acestuia.

$$I_{na} = \frac{P_{iL}}{U_f} + \frac{P_{iP}}{\eta_P U_f}$$

$$I_{nr} = \frac{P_{iL}}{U_f} tg\varphi_L + \frac{P_{iP}}{\eta_P \cdot U_f} tg\varphi_P \qquad (6.1.9)$$

unde:

P_{iL} - este puterea instalată pe circuitele de lumină ale fazei respective,

P_{iP} - puterea instalată pe circuitele de priză ale fazei respective.

Exemplu de calcul 3. Fie *TLP* cu schema din fig. II.6.1.

$P_{iL} = 10300$ W; $\cos\varphi_L = 0,95$; $\eta_L = 1$; $tg\varphi_L = 0,3286$

$P_{iP} = 8000$ W; $\cos\varphi_P = 0,8$; $\eta_P = 0,8$; $tg\varphi_P = 0,75$

Pe faza L_1:

$P_{iL} = 4250$ W, $P_{iP} = 2000$ W

$\cos\varphi_L = 0,95$, $\cos\varphi_P = 0,8$

Pe faza L_2:

$P_{iL} = 1750$ W, $P_{iP} = 4000$ W

Pe faza L_3:

$P_{iL} = 4300$ W, $P_{iP} = 2000$ W

Curentul nominal pe faza L_1:

- se calculează componentele acestuia cu relațiile 6.1.9:

$(I_{na})_{L1} = [4250/220] + [2000/(0,8\cdot 220)] = 19,3 + 11,4 = 30,7$ A

$(I_{nr})_{L1} = [19,3\cdot 0,3286] + [11,4\cdot 0,75] = 6,4 + 8,6 = 15,0$ Ar

și curentul nominal este:

$$(I_n)_{L1} = \sqrt{30,7^2 + 15^2} = 34,2 \text{ A}$$

Curentul nominal pe faza L_2:

$(I_{na})_{L2} = [1750/220] + [4000/(0,8\cdot 220)] = 8,0 + 22,7 = 30,7$ A

$(I_{nr})_{L2} = [8,0\cdot 0,3286] + [22,7\cdot 0,75] = 2,6 + 17,0 = 19,6$ Ar

$$(I_n)_{L3} = \sqrt{30,7^2 + 19,6^2} = 36,4 \text{ A}$$

Curentul nominal pe faza L_3:

$(I_{na})_{L3} = [4300/220] + [2000/(0,8\cdot 220)] = 19,5 + 11,4 = 30,9$ A

$(I_{nr})_{L3} = [19,5\cdot 0,3286] + [11,4\cdot 0,75] = 6,4 + 8,6 = 15$ Ar

$$(I_n)_{L3} = \sqrt{30,9^2 + 15^2} = 34,3 \text{ A}$$

Curentul nominal al coloanei tabloului va fi $I_n = 36,4$ A, corespunzător fazei celei mai încărcate.

- Coloanele trifazate pentru tablourile secundare de forță

Cu astfel de coloane sunt alimentate frecvent tablourile de forță, tablouri ce alimentează un număr oarecare de receptoare de acest fel: în principal, motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit, prize trifazate ce permit alimentarea unor receptoare de forță cu racorduri flexibile, cuptoare de mică putere etc.

Pentru calculul curentului nominal al coloanei este necesar să se facă unele ipoteze de calcul. Astfel tabloul alimentează n receptoare (circuite). Un receptor (circuit) oarecare k are următoarele caracteristici:
- putere instalată (mecanică): $(P_i)_k$;
- factor de putere: $\cos\varphi_k$;
- randament: η_k.

Din cele n receptoare se apreciază că numai m funcționează simultan. Simultaneitatea va fi apreciată pentru cazul de funcționare cel mai dezavantajos

Fig. II.6.1. Schema și distribuția pe faze a puterii active a unui tablou de lumină (TLP).

Schema tabloului	Nr. circuit	P_i [W]	Distribuția pe faze a puterii active		
			L_1	L_2	L_3
	1	800	800		
	2	1000		1000	
	3	1150			1150
	4	650	650		
	5	750		750	
	6	1150			1150
	7	900			900
	8	800	800		
	9	1000	1000		
	10	1100			1100
	11	2500*)		2500	
	12	2500	2500		
	13	2500			2500
	14	2500		2500	
	15	1000	1000		
	(rezervă)				
	COLOANA	/	6750	6750	6800

*) la randament $\eta_p = 0,8$

pentru coloană.

Pentru o apreciere cât mai corectă a simultaneității în funcționare este necesar a fi consultat tehnologul instalației de forță deservită de tabloul respectiv.

Curentul nominal al coloanei se calculează cu relația 6.1.8, unde I_{na} și I_{nr} sunt componentele activă și reactivă ale acestuia. Pentru cele două componente se folosesc relațiile:

$$I_{na} = \sum_{k=1}^{m} I_{nk} \cos \varphi_k \qquad (6.1.10)$$

$$I_{nr} = \sum_{k=1}^{m} I_{nk} \sin \varphi_k$$

unde:

I_{nk} - este curentul nominal al receptorului (circuitului) k, determinat cu relația 6.1.5.

Cunoscând valorile I_n, I_{na} și I_{nr} se pot determina și celelalte mărimi electrice ale tabloului:

- factorul de putere:

$\cos \varphi = I_{na} / I_n$ (-)

- puterea activă absorbită:

$$P_a = \sqrt{3} U I_{na} \quad [W] \qquad (6.1.11)$$

- puterea aparentă absorbită:

$$S_a = \sqrt{3} U I_n \quad [VA]$$

Exemplu de calcul 4. Se determină curentul nominal al coloanei unui tablou de forță care alimentează următoarele receptoarele din tabelul II.6.2:

Se apreciază că din cele n = 11 circuite funcționează simultan circuitele 1, 2, 4, 6, 7, 8, 10 și 11. Deci m = 8.

Pentru toate receptoarele se calculează curentul nominal I_{nk} și $\sin \varphi_k$. Valorile sunt incluse în tabelul II.6.2.

Aplicând relațiile 6.1.10 rezultă:

$I_{na} = 5,3 \cdot 0,8 + 5,3 \cdot 0,8 + 8,6 \cdot 0,86 + 15,8 \cdot 0,84 + 68,6 \cdot 0,84 + 68,6 \cdot 0,84 + 8,4 \cdot 0,7 + 16,6 \cdot 0,8 = 163,6$ A

$I_{nr} = 5,3 \cdot 0,6 + 5,3 \cdot 0,6 + 8,6 \cdot 0,5102 + 15,8 \cdot 0,5426 + 68,6 \cdot 0,5426 + 68,6 \cdot 0,5426 + 8,4 \cdot 0,7141 + 16,6 \cdot 0,6 = 109,7$ Ar

Și curentul nominal rezultă:

$$I_n = \sqrt{136,6^2 + 109,7^2} = 197 \text{ A}$$

- Coloane trifazate pentru tablourile generale de forță

Curentul nominal al coloanei generale se calculează cu relația 6.1.8 în care:

$$I_{na} = c_s \sum_{k=1}^{m} I_{nk} \cos \varphi_k \qquad (6.1.12)$$

$$I_{nr} = c_s \sum_{k=1}^{m} I_{nk} \sin \varphi_k$$

unde:

k - estre un indicele ce se referă la o coloană oarecare ce pleacă din tabloul general;

m - numărul de coloane;

c_s - coeficientul de simultaneitate în funcționare al întregii instalații de forță din clădire; valoarea acestuia nu este normată.

Aprecierea asupra c_s trebuie făcută cu multă atenție pentru a evita atât supradimensionarea cât și subdimensionarea. De exemplu, pentru instalația de forță ce alimentează centralele de instalații dintr-o clădire (stația de hidrofor, centrală termică și/sau de ventilare) coeficientul de simultaneitate poate avea valori cuprinse de 0,6 și 0,7.

Celelalte mărimi electrice ale *TG* se pot calcula cu relațiile 6.1.11.

- Coloane trifazate pentru tablourile generale de lumină și forță

Coloanele de acest fel sunt utilizate în clădirile în care instalația de forță are o putere instalată mică față de cea pentru lumină și prize sau în situațiile în care tarifarea este unică.

Curentul nominal se va determina cu relațiile 6.1.8 și 6.1.12, în care coeficientul de simultaneitate c_s ține seama de simultaneitatea generală a instalației electrice din clădire - lumină și forță împreună.

6.2. Alegerea secțiunii conductoarelor și cablurilor electrice

Secțiunea conductoarelor sau cablurilor electrice pentru circuitele și coloanele electrice se stabilește ca secțiunea minimă care respectă următoarele condiții:

1. În reghimul de lungă durată (permanent) încărcarea maximă admisibilă (I'_z) a conductorului (cablului) trebuie să fie mai mare decât curentul nominal transportat de circuit sau coloană (I_n):

$$I'_{ma} \geq I_n \qquad (6.2.1)$$

unde I'_{ma} este în funcție de:

- saturația conductoarelor (cupru sau aluminiu);
- felul izolației conductoarelor sau cablurilor electrice (neizolat sau izolat cu policlorură de vinil (PVC), polietilenă reticulară (XLPE), izolație minerală;
- sistemul de pozare. Normativul I-07 și SRHD 60364.5.523 evidențiază 80 de sisteme de pozare. Acestea se pot grupa în 9 sisteme de referință (tabel II 6.3) astfel:
  - A1 - conductoare izolate în tub în perete izolat termic;
  - A2 - cablu multiconductor în tub în perete izolat termic;
  - B1 - conductoare izolate în tub pe perete;
  - B2 - cablu multiconductor în tub pe perete;
  - C - cablu cu un conductor sau multiconductor pe un perete;
  - D - cablu cu un conductor sau multiconductor îngropat în perete sau în tub îngropat;
  - E - cablu multiconductor în aer liber
  - F - cabluri cu un conductor în aer liber apropiate;
  - G - cabluri cu un conductor în aer liber distanțate
- numărul de conductoare active montate împreună în tub, etc;
- natura sistemului de pozare: tub, jgheab, ghenă, canal, pat de cabluri etc;
- numărul de cabluri aflate simultan într-un sistem de pozare și distanța dintre acestea;
- temperatura mediului ambiant.

Pentru conductoarele și cablurile electrice montate în clădire curentul maxim admisibil se determină cu relația:

$$I'_{ma} = I_{ma} \cdot K_1 \cdot K_2 \qquad (6.2.2)$$

unde:

I_{ma} - este curentul maxim admisibil pentru conductor sau cablu, stabilit în condiții specifice, fără ca temperatura acestuia să depășească valoarea stabilită pentru regimul permanent (tabel II 6.4)

K_1 - factor de corecție pentru cazurile în care temperatura mediului ambiant diferă de 30°C (tabelul II 6.5)

K_2 - factor de corecție pentru pozarea în grup a mai multor circuite (tabel II 6.6)

Pentru cablurile electrice montate în pământ curentul maxim admisibil se determină cu relația:

$$I'_{ma} = I_{ma} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_x \qquad (6.2.3)$$

unde:

I_{ma} - este curentul maxim admisibil pentru cablu pozat în pământ cu o rezistență termică a solului de 1 K·m/W, o temperatură a solului de 20°C și un grad de încărcare de 0,7. Gradul de încărcare reprezintă durata de funcționare ciclică dintr-o zi (24 h) la curentul maxim admisibil

f_1 - factor de corecție în funcție de:
- temperatura solului diferită de 20°C, la adâncimea de pozare;
- rezistența termică specifică a solului;
- gradul de încărcare;

f_2 - factor de corecție (tabel II 6.9) în funcție de:
- numărul de cabluri (sisteme) pozate alăturat;
- tipul cablurilor;
- distanța dintre cabluri;
- rezistența termică specifică a solului;
- gradul de încărcare;

f_x - factor de corecție în funcție de pozare Acesta este:
- 0,85, dacă cablul este pozat în tub de protecție,
- 0,9, dacă cablul este acoperit cu plăci curbate ce nu permit eliminarea incluziunilor de aer după acoperire

Exemplul de calcul 1

Să se determine curentul maxim admisibil pentru un cablu cu conductor de cupru 3x2,5 mm², utilizat pentru un circuit monofazat (cu 2 conductoare încărca-

te).

Cablul are următoarele caracteristici:
- are izolație din PVC;
- pozarea este aparentă pe perete fixat la o distanță mai mică deciat 0,3 din diametrul exterior al cablului;
- temperatura ambiantă este de 35°C.

Rezolvare:
- modul de pozare este de tip C, conform tabelului II.6.3;
- din tabelul II 6.4 rezultă I_{ma}= *27* A
- din tabelul II 6.5 factorul de corecție în funcție de temperatură (35°C și izolație din PVC) este K_1=*0,94*.
- din tabelul II 6.6 rezultă factorul de reducere de grup este K_2=*0,85*.

Curentul maxim admisibil al cablului din exemplu este:

I'_{ma} = *27· 0,94· 0,85=21,57* A.

Exemplul de calcul 2

Același cablu din exemplul 1 dar montat la distanța de un diametru al cablului față de cablul învecinat.

Rezolvare:
- se modifică modul de pozare din C în E;
- din tabelul II 6.4 rezultă I_{ma}=*30* A;
- din tabelul II 6.5 K_1=*0,94* (35°C și izolație din PVC);
- din tabelul II 6.6 K_2=*0,94*.

În acest exemplu curentul maxim admisibil este:

I'_{ma} = *30· 0,94· 0,94=26,5* A.

Se poate observa că numai o modificare mică adusă în pozarea cablului crește curentul maxim admisibil cu peste 20%.

Exemplul de calcul 3

Să se determine curentul maxim admisibil al unui cablu cu conductoare de cupru 3x2,5 mm^2 utilizat pentru un circuit monofazat (cu 2 conductoare încărcate) dacă:
- izolația este din PVC;
- cablul este pozat în pământ la 0,7 m;
- temperatura solului este de 20°C;
- rezistență specifică termică este 1K·m/W
- gradul de încărcare este 0,7;
- pozarea: este ăn contact cu un alt cablu în sarcină de 3x2,5 mm^2;

Rezolvare:
- din tabelul II 6.7 rezultă I_{ma}=*42* A (2 conductoare încărcate, izolate din PVC);
- din tabelul II 6.8 rezultă f_1=*1,0* (condiții normale de funcționare și pozare);
- din tabelul II 6.9 f_2=*0,89* (pentru 2 sisteme de pozare);

Curentul maxim admisibil este:

I'_{ma} = *42· 1· 0,89=37,38* A.

Exemplul de calcul 4

Același cablu din exemplul 3 pozat în pământ în contact cu cel de al doilea cablu dar cu gradul de încărcare 1 (în loc de 0,7).

Rezolvare:
- din tabelul II 6.7 rezultă I_{ma}= *42* A;
- din tabelul II 6.8 f_1=*0,93* (pentru gradul de încărcare 1, temperatura 20°C și rezistența termică specifică 1K·m/W);
- din tabelul II 6.9 f_2=*0,76* (gradul de încărcare 1);

Curentul maxim admisibil al cablului rezultă:

I'_{ma} = *42· 1· 0,93=29,68* A.

Rezultă o reducere sensibilă a posibilității încărcării cablului prin modificarea gradului de încărcare.

2. secțiunea să fie mai mare sau cel puțin egală cu secțiunea minimă impusă de Normativul I-7 (tab. II.6.10); secțiunile din tabelul II.6.10 sunt secțiuni minime rezultate din condițiile de rezistență mecanică la transport și montare și de siguranță în funcționare.

3. secțiunea aleasă va trebui să se verifice la stabilitatea termică în regimul de scurtă durată la care poate fi supusă;
- în cazul pornirii motoarelor, densitatea de curent la pornire va fi mai mică decât valoarea admisibilă (§ 2.3.12);
- în cazul scurtcircuitului, verificarea se realizează dacă siguranța fuzibilă plasată pe circuit sau coloană are curentul fuzibilului (I_F); $I_F \le 3\ I_{ma}$ (§ 6.4.6)

4. secțiunea aleasă va trebui să conducă la pierderi de tensiune sub valorile admisibile impuse de norme.

Condiția 4 se va verifica după dimensionarea tuturor circuitelor și coloanelor. Dacă aceasta nu se respectă, secțiunea se va mări pe porțiunea sau porțiunile unde pierderea este mare, până la valoarea sau valorile ce fac condiția îndeplinită.

Condițiile 1-4 de mai sus permit determinarea secțiunii conductorului de fază. Pentru stabilirea secțiunii conductoarelor de neutru (N), de protecție (PE) sau conductor comun neutru și de protecție (PEN) se procedează astfel:

• secțiunea conductorului de neutru (s_N) se stabilește în funcție de secțiunea fazei (s_F) și din același material cu conductorul de fază astfel:
- până la 16 mm^2 se alege $s_N = s_F$;
- peste 16 mm^2, s_N se alege în funcție de s_F din tabelul II.6.10.

• secțiunea conductorului de protecție (s_{PE}) se ia de aceeași valoare cu s_N când fazele și neutrul se execută din cupru. Când acestea din urmă sunt din aluminiu, conductorul de protecție este din cupru cu secțiunea s_{PE} cu o treaptă mai mică (pe gama de secțiuni) decât a neutrului s_N.

• secțiunea conductorului comun neutru și de protecție (s_{PEN}) are aceeași valoare cu s_{PE}.

Excepție fac cablurile cu patru conductoare din aluminiu. Al patrulea conductor poate fi conductor comun PEN între postul de transformare și consumator sau pe coloanele de distribuție.

Regulile de mai sus se aplică pentru circuitele și coloanele la care curentul absorbit este sinusoidal. Alimentarea cu energie electrică a unor receptoare electrice neliniare, la care dependența dintre tensiunea aplicată și curentul care îi străbate nu este liniară, conduce la producerea curenților armonici și la distorsionarea formei de undă a tensiunii. Este cazul echipamentelor electrice, a motoarelor cu turație variabilă etc. În astfel de situații valoarea curentului pe conductorul neutru poate fi mai mare decât curentul pe fază. Dacă rețeaua alimentează receptoare neliniare, chiar dacă fazele sunt încărcate identic (cazul receptorului trifazat echilibrat), mai mult ca sigur valoarea curentului prin conductorul neutru nu este zero, ci poate avea o valoare importantă. Aceasta se datorează faptului că armonicile multiplu de trei ale curenților de linie sunt în fază și în loc să se anuleze (prin însumare fazorială) se însumează algebric.

Prezența armonicilor de orice ordin și în special a celor de ordinul trei, conduce la încălzirea suplimentară a conductoarelor de fază, dar în special al conductorului neutru.

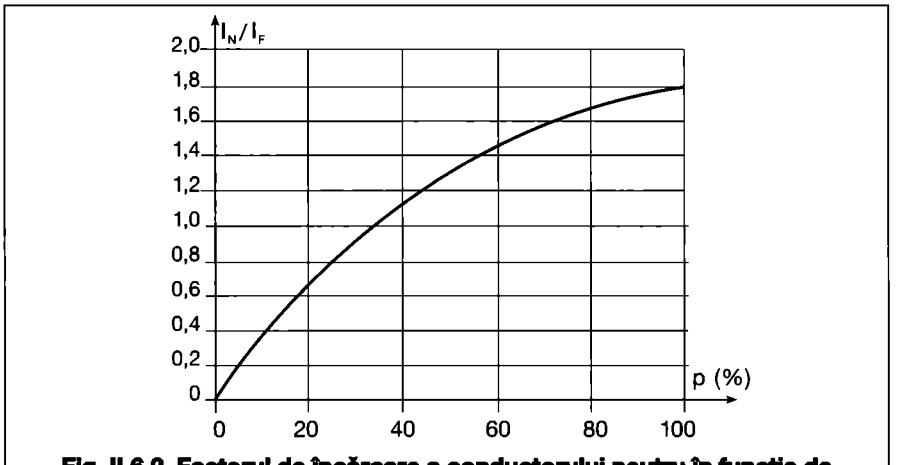


Fig. II.6.2. Factorul de încărcare a conductorului neutru în funcție de conținutul de armonici de ordinul trei

În fig. II.6.2. este arătată dependența factorului de încărcare a conductorului neutru în funcție de conținutul de armonici de ordinul trei.

Rezultă că este necesară aplicarea unor coeficienți de corecție pentru valorile curenților și implicit, a secțiunii conductoarelor, astfel că în regim temperaturile izolației să nu depășească valorile admise.

Norma internațională CEI 60364-5-52 stabilește pentru regimul deformant o serie de coeficienți de corecție a capacității conductoarelor și a cablurilor electrice.

Coeficientul care ține seama de prezența armonicilor de ordinul trei este denumit **k5**.

Valorile acestuia sunt date în tabelul II.6.1.

Curentul ce se ia în calcul pentru alegerea secțiunii va fi I_n /k5, unde In este curentul de fază (relațiile 6.1.1; 6.1.3; 6.1.5).

Astfel, dacă valoarea efectivă a armonicii de ordinul trei reprezintă mai puțin de 15 % din valoarea efectivă a curentului de fază, se poate considera că nu este necesară mărirea conductorului neutru. Aceasta deoarece conductorul neutru va fi parcurs de un curent a cărui valoare efectivă nu depășește 45 %, ceea ce conduce la o creștere de aproximativ 6% a cantității de căldură degajate (față de situația în care armonicile de ordinul trei ar lipsi). Această degajare de căldură este acceptabilă . Fac excepție situațiile în care cablul este amplasat într-un mediu cu temperatura diferită de cea pentru care a fost stabilită valoarea sarcinii maxime admisibile (Ima).

Dacă valoarea efectivă a armonicii de ordinul trei are o pondere între 15% și 33% din valoarea efectivă a curentului de fază, valoarea efectivă a curentului din conductorul neutru este cuprinsă între 45% și 100 % din valoarea efectivă a curentului de fază. Aceasta conduce la o creștere a cantității de căldură de aproximativ 30 %, comparativ cu situația în care armonicile de ordinul trei ale curenților de fază ar lipsi. Pentru astfel de situații se aplică un factor de corecție egal cu k5 = 0,86.

Dacă valoarea efectivă a armonicii de ordinul trei are o pondere între 33% și 45% din valoarea efectivă a curentului de fază, valoarea efectivă a curentului din conductorul neutru este cuprinsă între 100% și 135% din valoarea efectivă a curentului de fază. În această situație dimensionarea se va face având în vedere valoarea curentului din conductorul neutru, pentru care k5 este 0,86.

Curentul prin conductorul neutru, pentru un receptor trifazat, este

$I_o = p / 100 \times I_n \times 3/k5$,

unde:

p - este ponderea armonicii a treia în %;

I_n - este curentul de fază în lipsa armonicilor.

Secțiunile fazelor vor fi mărite la mărimea secțiunilor conductorului neutru.

Pentru valoarea efectivă a armonicii de ordinul trei cu o pondere mai mare de 45% din valoarea efectivă a curentului de fază, dimensionarea se face având în vedere valoarea curentului din conductorul neutru. Nu este necesară aplicarea unui factor de corecție deoarece în aceste condiții secțiunii conductoarelor de fază sunt supradimensionate, ceea ce diminuează sensibil cantitatea de căldură disipată de către acestea.

Exemplul de calcul 1

Se consideră un circuit trifazat încărcat cu 30 A care admite instalarea unui cablu cu 4 conductoare, izolat cu PVC fixat pe un perete, mod de pozare C.

Plecând de la tabelul II 6.4 col. 11 un cablu de 4 mm^2 având conductoarele de cupru prezintă un curent admisibil de 32 A și este corespunzător în cazul absenței armonicelor în circuit.

În cazul prezenței armonicii de ordin 3 de 20% din curentul de fază, se aplică un factor de corecție de 0,86 și curentul devine:

30/0,86=34,88 A.

Pentru acest curent este necesar un cablu de 6 mm^2, curent maxim admisibil 41 A.

În cazul prezenței armonicii de ordin 3 de 40% din curentul de fază, alegerea se face în funcție de curentul prin conductorul neutru care este:

30x0,4x3=36 A

și se aplică un factor de corecție de 0,86 ceea ce conduce la un curent de:

36/0,86=41,86 A.

Pentru acest curent este necesară o secțiune de 10 mm^2, cu curent maxim admisibil de 57 A.

În cazul prezenței armonicei de ordin 3 în proporție de 50% alegerea se bazează din nou pe curentul din conductorul neutru care este:

30x0,5x3=45 A.

În acest caz, factorul de corecție este 1 și este necesară o secțiune de 10 mm^2.

Toate secțiunile de mai sus se bazează pe intensitatea curentului admisibil în cablu. Nu au fost luate în considerare, căderea de tensiune și alte aspecte legate de alegere a secțiunii.

Exemplul de calcul 2

Un circuit trifazat cu curentul de fază calculat $I_n = 38$ A

Pentru un astfel de curent ar fi necesar un cablu cu patru conductoare (montat în aer - pe perete) cu $s = 6$ m^2 având $I_{na} = 43$ A > 38 A (tab. II.6.4 a).

1. Dacă conținutul armonicii a treia este 20%, coeficientul k5 este 0,86 și curentul I_n devine $I'_n = I_n$ /k5 = $38/0,86 = 44,2$ A.

Prin urmare, secțiunea de 6 mm^2 nu este suficientă. Este necesar un cablu cu secțiunea de 10 mm^2.

2. Dacă conținutul armonicii a treia este 40%, alegerea cablului se va face în funcție de curentul prin conductorul neutru, care va avea valoarea $I_o = 0,40 \times 38 \times 3 = 45,6$ A și în acest caz secțiunea de 6 mm^2 nu ar fi suficientă. Ar fi necesară o secțiune de 10 mm^2 ($I_{ma} = 60$ A).

3. Dacă conținutul armonicii a treia este de 55%, alegerea cablului se face tot în funcție de curentul prin conductorul neutru, a cărei valoare este:

$I_o = 0,55 \times 38 \times 3 = 62,7$ A (k5 - 1). În acest caz ar fi necesară o secțiune de 16 mm^2 ($I_{ma} = 80$ A).

6.3. Alegerea tuburilor de protecție

Conform SR EN 61386-1, 21, 22 și 23 indică caracteristicile tuburilor de protecție pentru a asigura o protecție fiabilă pentru utilizatori și pentru spațiile învecinate, când sunt montate în clădire. Aceste se clasifică prin 12 cifre cu următoarele semnificații:

1. Prima cifră indică rezistența la compresiune și poate fi:
   1 - foarte scăzută (125 N);
   2 - scăzută (320 N);
   3 - medie (750 N);
   4 - ridicată (1250 N);
   5 - foarte ridicată (4000 N).
2. A doua cifră indică rezistența la impact care poate fi:
   1 - foarte scăzută (0,5 J);
   2 - scăzută (1 J);
   3 - medie (2 J);
   4 - ridicată (6 J);
   5 - foarte ridicată (20,4 J).
3. A treia cifră indică temperatura minimă suportată de tub, care poate fi:
   1 - pentru +5°C;
   2 - pentru -5°C;
   3 - pentru -15°C;
   4 - pentru -25°C;
   5 - pentru -45°C.
4. A patra cifră indică temperatura maximă suportată de tub, care poate fi:
   1 - pentru +60°C;
   2 - pentru +90°C;
   3 - pentru +105°C;
   4 - pentru +120°C;
   5 - pentru +150°C;
   6 - pentru +250°C
   7 - pentru +400°C.
5. A cincea cifră indică rezistența la încovoiere, care poate fi:
   1 - pentru tub rigid;
   2 - pentru tub pliabil;
   3 - pentru tub pliabil/elastic;
   4 - pentru tub flexibil.
6. A șasea cifră indică proprietățile electrice. Aceasta poate fi:
   0 - pentru proprietăți nedeclarate;
   1 - cu caracteristici de continuitate el-

ectrică;
2 - cu caracteristici de izolație electrică;
3 - cu caracteristici atât de continuitate cât și de izolație electrică.

7. A șaptea cifră indică rezistența la pătrunderea corpurilor solide, care poate fi:
3 - protejat împotriva corpurilor solide cu diametrul ≥ 2,5 mm;
4 - protejat împotriva corpurilor solide cu diametrul ≥ 1 mm;
5 - protejat împotriva prafului;
6 - etanș la praf.

8. A opta cifră indică rezistența la pătrunderea apei și poate fi:
0 - nedeclarat;
1 - protejat împotriva căderilor verticale ale stropilor de apă;
2 - protejat împotriva căderilor verticale ale stropilor de apă atunci când sistemul de tuburi de protecție este înclinat la mixim 15°;
3 - protejat împotriva apei pluviale;
4 - protejat împotriva apei împroșcate;
5 - protejat împotriva jeturilor de apă;
6 - protejat împotriva jeturilor puternice de apă;
7 - protejat împotriva efectelor unei imersiuni temporare în apă.

9. A noua cifră indică protecția împotriva coroziunii care poate fi:
1 - protecție scăzută interioară și exterioară;
2 - protecție medie interioară și exterioară (electrozincare, email cu uscare în cuptor, vopsire cu uscare în aer liber);
3 - protecție compozită medie/ridicată (interior clasă 2/exterior clasă 4);
4 - protecție ridicată interioară și exterioară (zincare prin cufundare, șerardizare, oțel inoxidabil).

10. A zecea cifră indică rezistența la tracțiune, ce poate fi:
0 - nedeclarată;
1 - foarte scăzută;
2 - scăzută;
3 - medie;
4 - ridicată;
5 - foarte ridicată.

11. A unsprezecea cifră indică rezistența la propagarea flăcării și poate fi:
1 - nu propagă flacăra;
2 - propagă flacăra.

12. A douăsprezecea cifră indică rezistența la sarcina suspendată și poate fi:
0 - nedeclarată;
1 - foarte scăzută;
2 - scăzută;
3 - medie;
4 - ridicată;
5 - foarte ridicată.

A treisprezecea cifră referitoare la efectele focului este în studiu.

Tubul de protecție și fitingurile trebuie să fie marcate cu:
- marca fabricii sau numele producătorului;
- codul de clasificare, care trebuie să conțină cel puțin primele 4 cifre.

Materialele care propagă flacăra vor fi de culoare portocalie.

Materialele care nu propagă flacăra vor avea orice culoare dar nu culoarea galben, roșu sau portocaliu (cu excepția cazului în care marcarea este foarte clară pe tub).

Marcarea se face pe toată lungimea tubului, de preferință din metru în metru, dar nu la distanțe mai mari de 3 m.

Dacă tuburile flexibile sau pliabile nu pot fi marcate, vor fi prevăzute cu etichete la extremități sau pe ambalaj.

Un exemplu de marcare minimă (cu patru cifre) ar fi:
2221 - ceea ce înseamnă tub:
- rezistent la compresiune 320 N;
- rezistent la impact 1J;
- temperatura minimă -5°C;
- temperatura maximă +60°C.

Tubul poate fi metalic, din material plastic sau din alte materiale.

Diametrele tuburilor (în mm) sunt standardizate la următoarele dimensiuni: 6, 8, 10, 12, 16, 20, 32, 40, 50, 63 și 75.

Diametrele interioare nu sunt standardizate, ele depinzând de caracteristicile tuburilor.

În funcție de modul de instalare SR EN 61386 recomandă caracteristicile minime pentru tuburile de protecție pentru instalații electrice, în funcție de modul de instalare. Acestea sunt date în tabel II 6.12.

Conductoarele și cablurile electrice trebuie instalate în tubulatură a căror dimensiuni (diametre interioare) trebuie alese în funcție de secțiunea conductoarelor, numărul lor sau tipul de cablu.

Diametrul interior D_i (mm) al unui tub de pretecție se stabilește din condiția:

$A_i \geq 3A_c$,

unde:

A_i - este aria secțiunii interioare a tubului

A_c - aria secțiunii ocupată de conductoare (cu izolație)

Exemplu:

Un conductor FY 10 mm^2 are diametrul exterior al conductorului de 6,4 mm. Aria ocupată de conductor este de 32,15 mm^2.

Rezultă:
- pentru două conductoare
$A_c = 64,3$ mm^2;
$A_i = 192,9$ mm^2.

Tubul de protecție trebuie să aibe un diametru interior de 15,7 mm. rezultă un tub cu diametrul exterior de 20 mm.
- pentru trei conductoare de 10 mm^2 va rezulta:
$A_c = 96,4$ mm^2;
$A_i = 289,2$ mm^2.

Tubul trebuie să aibe diametrul interior de 19,2 mm. Rezultă un tub cu diametrul exterior de 25 mm.

În tabelul II 6.13 sunt prezentate câteva exemple de calcule pentru alegerea tubului de protecție pentru conductoare FY, H07V-U și H07V-R.

În afară de tuburi de protecție, conductoarele și cablurile electrice se pot poza în diferite sisteme. Alegerea sistemelor de pozare se face în funcție de tipurile de conductoare sau cabluri electrice. Tabelul II 6.14 recomandă sistemele de pozare, cele mai adecvate, în funcție de utilizarea conductoarelor și cablurilor electrice.

6.4. Alegerea aparatelor de acționare, protecție și măsură

6.4.1. Alegerea întreruptorului manual

Acesta este caracterizat de:
- curentul nominal ($I_{nî}$), curentul ce poate fi parcurs de aparat în condiții de stabilitate termică;
- curentul de rupere (I_r), curent ce poate fi întrerupt de aparat în condiții de stabilitate termică.

Relația dintre cei doi curenți pentru întreruptoarele de joasă tensiune este dată în tabelul II 6.17 pentru diferite utilizări ale întreruptorului manual.

Din tabelul II 6.17 se observă că la astfel de întreruptoare curentul de rupere este $I_r < I_{nî}$. Din acest motiv întreruptoarele se aleg astfel încât:

$I_r \geq I_n$ (6.4.1)

unde:

I_n - este curentul nominal al circuitului sau coloanei ce trebuie întrerupt(ă).

Întreruptoarele de mică putere, folosite în acționarea circuitelor de lumină, au curentul de rupere $I_r = 6$ A.

6.4.2. Alegerea contactorului

Pentru contactoare, curentul de rupere (I_r) este mult mai mare decât curentul nominal al acestuia (I_{nc}):

$I_r \cong (8...10)I_{nc}$ (6.4.2)

Alegerea se face punând condiția:

$I_{nc} \geq I_n$ (6.4.3)

unde:

I_{nc} - este curentul nominal al contactorului

I_n - curentul nominal ce trebuie întrerupt de către contactor.

În tabelele II 6.18 și II 6.19 se dau câteva din mărimile mai importante ale contactoarelor românești de tip TCA (fig. II.6.3).

De asemenea, contactorul trebuie ales și în funcție de numărul de contacte auxiliare disponibile, tensiunea bobinei și tipul de execuție climatică.

Bobina contactorului acționează și ca un releu de tensiune minimă, aceasta eliberând armătura mobilă când tensiunea de alimentare scade sub $0,7\ U_n$.

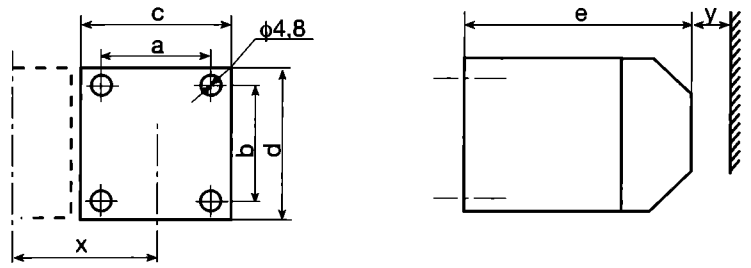


Fig. II.6.3. Dimensiunile contactoarelor TCA.

6.4.3. Alegerea întreruptorului automat

Întreruptoarele automate se aleg în același mod ca și contactoarele. Este de amintit că aceste aparate se deosebesc de contactoare prin aceea că:

- permit un număr mult mai mic de acționări, deoarece nu sunt concepute pentru a fi introduse în sisteme de automatizare. Au rolul de a întrerupe liniile electrice, manevră care are loc rar.
  De exemplu, întreruptorul LEGRAND - VISTOP 160A permite un număr de 20.000 de acționări mecanice. Cu cât curentul nominal este mai mic, cu atât numărul de acționări crește.
- pozițiile de „deschis" și „închis" sunt vizibile și ușor de identificat încât nu pot duce la confuzii ce să permită manevre greșite, cu consecințe grave pentru instalație și pentru personalul de exploatare. Poziția „închis" sau „deschis" poate fi asigurată, suplimentar, și prin utilizarea unor chei speciale de blocare.
- contactele sunt pregătite pentru curenți de rupere mari, de ordinul kiloamperilor.

Întreruptoarele automate pot fi echipate, opțional, cu echipamente diferențiale (cu ΔI de 100; 300; 500 mA sau 1A).

Bobina întreruptorului automat poate lucra și ca releu de tensiune minimă, decuplând la scăderi ale tensiunii nominale sub 70 % (de regulă, în intervalul *0,7 - 0,35* U_n).

6.4.4. Alegerea disjunctorului și disjunctorului diferențial

Disjunctoarele sunt aparate de acționare prevăzute cu echipamente de protecție la suprasarcină și scurtcircuit. Opțional, pot fi echipate cu un bloc pentru protecția diferențială (§ 4).

Disjunctoarele sunt caracterizate de:

- curentul nominal (I_{nD}), suportat de aparat în regimul de lungă durată;
- curentul de serviciu (I_s), corespunzător echipamentului ce asigură protecția la suprasarcină. Acesta poate fi reglat fin, de regulă, în intervalul $I_r \in (0,6 \dots 1)I_s$.

Sunt disjunctoare la care domeniul de reglare este diferit de cel menționat sau reglarea se face în trepte, de exemplu, în trepte fixe: *0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95; 1* din curentul nominal (I_{nD});

- curentul de reglare corespunzător echipamentului ce asigură protecția la scurtcircuit (I_m). Echipamentele românești (AMRO, USOL) nu menționează valoarea lui I_m deoarece reglarea acestuia se face, prin construcția aparatului, odată cu reglarea curentului de serviciu de la valoarea I_s la $I_r = I_n$, unde I_n este curentul ce trebuie supravegheat. De regulă, se respectă condiția $I_m \cong 4,5\ I_r$. Multe disjunctoare permit reglarea independentă a releului electromagnetic. De exemplu, disjunctoarele LEGRAND din gama PX permit 8 trepte de reglare pentru curentul de declanșare la scurtcircuit: 1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10 x I_r.
- disjunctoarele din ultima generație oferă și o protecție „instantanee" (aproximativ 10 ms) pentru un curent de scurtcircuit foarte mare (I_f)

În fig. II.6.4 se prezintă caracteristicile de funcționare pentru disjunctorul DPX1600 (LEGRAND).

- curent ΔI pentru care echipamentul diferențial acționează prin deschiderea contactelor principale. Echipamentul diferențial (§ 4) este opțional. Atunci când disjunctorul a fost prevăzut cu un asemenea echipament, el se numește „disjunctor diferențial". Valorile lui ΔI sunt 10 și 30 mA pentru disjunctoarele de mare sensibilitate și 100, 300 mA și 1 A pentru celelalte. Disjunctoarele de mare putere au echipamentul diferențial reglabil.
- tensiunea de alimentare a bobinei. De regulă, aceasta este 24, 230 sau 240 V în c.a. sau în c.c. De cele mai multe ori bobina disjunctorului lucrează și ca declanșator de tensiune minimă. Aceasta poate acționa „instantaneu" sau cu o temporizare, ce uneori poate fi reglabilă. Declanșatorul de tensiune minimă declanșează la valori ale tensiunii între *0,7* și *0,35* U_n.

Disjunctorul se va alege respectând condiția:

$$I_{nD} \geq I_n \qquad (6.4.4)$$

unde:

I_n - este curentul nominal al liniei pe care se montează.

Disjunctorul se alege astfel ca reglarea echipamentului de protecție la suprasarcină să se poată face la $I_r = I_n$, iar cea de protecție la scurtcircuit la $I_m = I_{sc}$, unde I_{sc} este curentul efectiv al curentului de scurtcircuit dacă defectul s-ar produce în apropierea (în aval, în sensul de transport al puterii) disjunctorului.

Dacă disjunctorul este prevăzut și cu echipament de protecție diferențială, valoarea nominală a acestuia se va alege în concordanță cu selectivitatea dorită (§ 4.2.3):

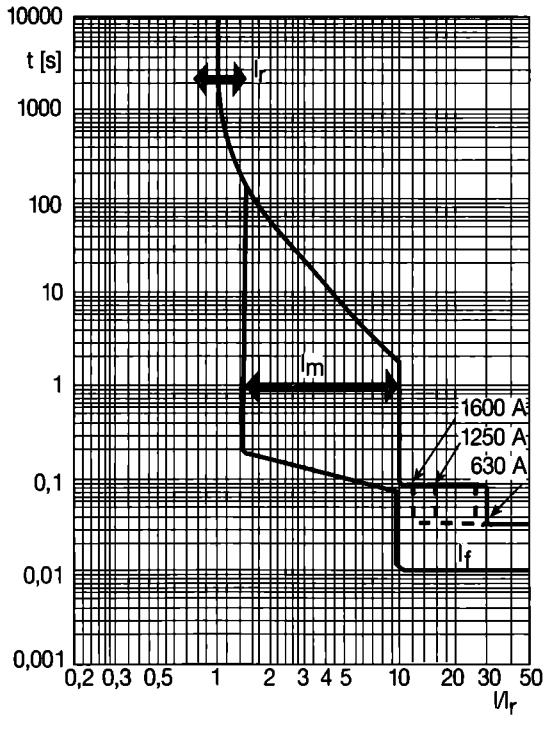


Fig. II.6.4 Caracteristicile de funcționare ale disjunctorului DPX1600 (I_{aD} = 1600 A).

Protecția la suprasarcină: I_r poate fi de *0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95; 1* x I_{aD}
Protecția la scurtcircuit (reglabilă): I_m poate fi de *1,5; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10* x I_r
Protecția „instantanee" la scurtcircuit: I_f = *20* kA.

6.4.5. Alegerea releelor termice

Releele termice sunt aparate electrice folosite pentru protecția receptoarelor sau liniilor electrice la suprasarcină. Releul termic este folosit în serie cu un contactor, în circuitele de alimentare ale receptoarelor electrice, și în serie cu un întreruptor automat, pe coloanele tablourilor electrice. Ultima rezolvare este mai rară, deoarece grupul întreruptor automat (releu termic) poate fi înlocuit cu un disjunctor.

În România se fabrică blocul trifazat de relee termice - tip TSA (fig.II.6.5)

Frecvența de conectare pe oră: 15

Domeniul de reglare:

$I_r \in (0,67...1)I_s$, (6.4.5)

unde:

$I_r = I_n$ - este curentul nominal ce trebuie supravegheat.

Este de preferat ca valoarea lui I_n, ce corespunde curentului de reglare să se găsească cât mai aproape de mijlocul intervalului pentru a permite realizarea ușoară a operației de reglare.

Se alege tipul releului în funcție de opțiunile 1), 2) și 3) menționate în tabelul II.6.20 pe care le poate avea proiectantul.

Exemplu de calcul. Se determină releul termic necesar protecției la suprasarcină a unui motor trifazat asincron care are curentul nominal $I_n = 6,9$ A și funcționează la temperatura mediului ambiant de +20 °C.

Rezolvare

Temperatura mediului fiind între +10 °C și 35 °C, nu este necesară corecția curentului de reglare, acesta rămânând $I_r = I_n = 6,9$ A. Curentul de serviciu poate fi: $I_s = 8$ A, care are domeniul de reglare: $(0,67...1)8 = 5,36...8$ A sau $I_s = 10$ A, care are domeniul de reglare: $(0,67...1)10 = 6,7...10$ A.

Din cele două soluții este de preferat I_s = 8 A, deoarece reglarea releului termic la valoarea $I_r = I_n = 6,9$ A este mai ușoară. Urmărind tabelul II. 6.18 rezultă următoarele soluții pentru tipul de releu:

- TSA 10 ($I_s = 8$ A; $I_r = 6,9$ A), care nu oferă protecție la funcționarea în două faze;
- TSA 16 ($I_s = 8$ A; $I_r = 6,9$ A) și
- TSA 32 ($I_s = 8$ A; $I_r = 6,9$ A) ambele tipuri asigurând și posibilitatea protecției la mersul în două faze.

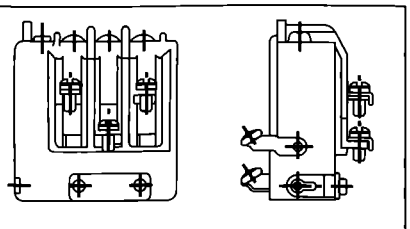


Fig. II.6.5. Bloc trifazat de relee termice.

6.4.6. Alegerea siguranței fuzibile

Siguranțele fuzibile sunt utilizate pentru protecția la suprasarcină a circuitelor de lumină și la scurtcircuit a circuitelor de forță (protecția la suprasarcină fiind asigurată de relee termice) și a coloanelor tablourilor electrice. De asemenea, siguranțele fuzibile pot fi folosite și pentru deconectarea circuitelor sau coloanelor electrice atunci când pe acestea nu sunt prevăzute aparate de acționare.

Alegerea siguranței pentru protecția circuitelor de lumină la suprasarcină (fig.II.6.6).

Pentru determinarea curentului I_F al siguranței fuzibile se pun condițiile:

$I_F \geq I_n$ (6.4.6)

$I_F \leq k\, I_{ma}$ (6.4.7)

unde:

I_{ma} - este curentul maxim admisibil al secțiunii fazei circuitului;

$k = 1$ - pentru circuitele ce alimentează lămpi fluorescente (nu se pot realiza suprasarcini datorită construcției particulare a lămpilor de diferite puteri);

$k = 0,8$ - pentru circuite ce alimentează lămpi cu incandescență (unde există posibilitatea realizării de suprasarcini prin înlocuirea becurilor de putere mică cu unele de putere mai mare).

Se alege cea mai mică valoare I_F care îndeplinește condițiile de mai sus. Dacă nu a fost aleasă secțiunea circuitului, siguranța se determină numai din condiția 6.4.6. Condiția 6.4.7 va fi utilizată pentru determinarea secțiunii fazei. Siguranța fuzibilă astfel determinată asigură și protecția la scurtcircuit.

Exemplu de calcul. Se calculează siguranța fuzibilă pentru protecția la suprasarcină a unui circuit de lumină cu lămpi fluorescente de joasă presiune al cărui curent nominal este I_n = 8,4 A. Secțiunea fazei circuitului este s_F = 2,5 AFY.

Rezolvare

Din tabelul II.6.5 rezultă $I_{ma} = 18$ A (pentru n = 2 conducte). Curentul fuzibilului trebuie să îndeplinească condițiile:

$I_F \geq 8,4$ A și $I_F \leq 1 \cdot 18 = 18$ A. Aceasta poate fi I_F = 10 A; I_F = 16 A. Se alege I_F = 10 A.

Alegerea siguranței fuzibile pentru protecția circuitelor monofazate de priză la suprasarcină (fig. II.6.7)

Prizele sunt aparate electrice care permit conectarea receptoarelor electrice prin racorduri flexibile cum ar fi: calculatoare, receptoare *R-TV*, receptoare electrocasnice, case de bani, corpuri de iluminat pentru iluminat local etc. Receptoarele electrice ce se pot racorda la prize trebuie să aibă puterea până la 2 kW. Receptoarele cu puteri mai mari se pot racorda la priză dacă aceasta se află pe un circuit separat, iar conectarea și deconectarea se fac cu aparate corespunzătoare (de exemplu, contactoare) montate pe circuitul fix, în fața prizei, dacă receptorul prin construcție nu este prevăzut cu întrerupător.

Pe un circuit monofazat de priză se pot monta:

- 8 locuri de priză (simple sau duble), atunci când circuitul aparține unei locuințe;
- 15 locuri de priză (simple sau duble) pentru celelalte destinații.

Puterea instalată a unor astfel de circuite de priză (de utilizare generală) este de 2 kW, iar secțiunea minimă admisă a conductorului de fază al circuitului este de 2,5 mm², din cupru sau 4 mm², din aluminiu. Fiecare priză în parte se va alimenta cu conductoare cu secțiunea de 1,5 mm² din cupru, sau 2,5 mm² din aluminiu.

Siguranța fuzibilă se alege punând condiția 6.4.7 unde: $k = 0,8$ și I_{ma} este curentul maxim admisibil al conductelor electrice ale circuitului.

Dacă conductele electrice sunt FY 2,5 mm² sau AFY 4 mm², $I_{ma} = 24$ A sau $I_{ma} = 23$ A, rezultă pentru circuitele de priză siguranțe fuzibile $I_F \leq 16$ A. Soluția I_F = 16 A este utilizată cel mai frecvent deoarece:

- se asigură o protecție bună la suprasarcină a conductelor electrice dintre circuit și priză cu $s_F = 1,5$ mm² din cupru cu $I_{ma} = 17$ A sau $s_F = 2,5$ mm² din aluminiu cu $I_{ma} = 18$ A.
- se asigură, implicit, protecție la scurtcircuit;
- permite funcționarea circuitului de priză, în regimuri de scurtă durată și la puteri mai mari de 2 kW.

Alegerea siguranței fuzibile pentru protecția la suprasarcină a coloanelor electrice

Este o protecție mai rar utilizată deoarece coloana ar intra într-un regim de suprasarcină dacă toate sau aproape toate circuitele ar funcționa în suprasarcină.

Pentru a proteja coloana la suprasarcină, siguranța fuzibilă se alege ca cea mai mică valoare care îndeplinește condițiile:

$I_F \geq I_n$

$I_F \leq I_{ma}$

$I_F \geq (I_F)_{PS}$ (6.4.8)

unde:

I_n - este curentul nominal al coloanei;

I_{ma} - este curentul maxim admisibil al secțiunii fazei coloanei pentru n = 3 sau n = 4, în funcție de numărul de conducte active ale coloanei;

$(I_F)_{PS}$ - valoarea fuzibilului corespunzător protecției selective: aceasta trebuie să depășească cu două trepte - pe gama valorilor I_F - valoarea maximă a fuzibilului aflat pe circuitele tabloului.

Secțiunea coloanei, care stabilește și valoarea I_{ma}, este determinată din condiția stabilității termice la regimul permanent. Dacă condiția $I_F \le I_{ma}$ conduce la o nedeterminare a sistemului 6.4.8 se procedează la mărirea secțiunii coloanei până când sistemul are soluție.

Exemplu de calcul. Corespunzător curentului $I_n = 23$ A și $n = 4$ conducte active rezultă secțiunea fazei coloanei $s_F = 4$ mm² din cupru cu $I_{ma} = 24$ A (se respectă condiția 6.2.1). Din condiția de selectivitate este necesar ca I_F al coloanei să depășească valoarea de *16* A cu cel puțin două trepte, deci *25* A. Condițiile 6.4.8 devin:
$I_F \ge 23$ A
$I_F \le 24$ A și
$I_F \ge 25$ A.
Sistemul nu are soluție. Se mărește secțiunea coloanei la $s_F = 6$ mm² din cupru $I_{ma} = 31$ A.
Condițiile devin: $I_F \ge 23$ A, $I_F \le 31$ A, și $I_F \ge 25$ A. Se va alege $I_F = 25$ A.

Alegerea siguranței fuzibile pentru protecția la scurtcircuit a circuitelor de forță

Acestea au prevăzute pentru protecție la suprasarcină relee termice, astfel că siguranțele fuzibile asigură protecția la scurtcircuit atât a conductelor electrice cât și a aparatelor electrice montate pe circuit (fig. II.6.8).

Totodată, siguranța trebuie să permită trecerea curenților nominali (I_n) și de pornire (I_p). Condițiile pentru alegerea siguranței rezultă:

$$\begin{aligned} &I_F \ge I_n \\ &I_F \ge I_p / k \\ &I_F \le 3I_{ma} \\ &I_F \le (I_F)_{RT} \\ &I_F \le (I_F)_C \end{aligned} \qquad (6.4.9)$$

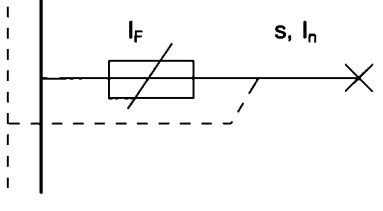


Fig. II.6.6. Circuit de lumină protejat cu siguranță fuzibilă.

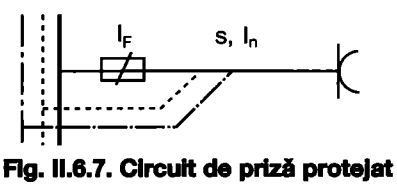


Fig. II.6.7. Circuit de priză protejat cu siguranță fuzibilă.

$I_F \ge I_p/k$ - condiție pentru a suporta încălzirea în timpul pornirii,
$I_F \le 3\ I_{ma}$ (a) - condiție pentru protecția conductelor ca izolația să nu atingă temperatura admisibilă la scurtcircuit;
$I_F \le (I_F)_{RT}$ (b) - condiție pentru protecția bimetalului releului termic,
$I_F \le (I_F)_C$ (c) - condiție pentru protecția contactorului,
unde:
I_p - este curentul de pornire a motorului ce se determină din caracteristicile acestuia. Cataloagele indică raportul I_p/I_n pentru pornirea directă. Dacă pornirea diferă de aceasta, I_p se va determina în consecință. De exemplu, când pornirea este stea/triunghi, curentul de pornire este de trei ori mai mic;
k - un coeficient corespunzător modului de pornire a motorului: pentru pornirea directă $k = 2{,}5$, iar pentru pornirea stea/triunghi $k = 2{,}0$;
I_{ma} - curentul maxim admisibil al secțiunii fazei (pentru $n = 3$ în cazul motoarelor trifazate);
$(I_F)_{RT}$ și $(I_F)_C$ - sunt valorile maxime ale fuzibilelor care pot proteja releul termic și, respectiv, contactorul la scurtcircuit - adică căldura acumulată de aparate pe durata scurtcircuitului, ce depinde de timpul de acționare a fuzibilului, nu depășește valoare admisibilă pentru acestea. $(I_F)_{RT}$ depinde de curentul de serviciu (I_s) al releului termic (tab. II.6.20), iar $(I_F)_C$, de curentul nominal al contactorului (I_{nC}) (tab. II.6.21).

Exemplu de calcul. Se stabilește mărimea siguranței fuzibile din circuitul motorului din fig. II.6.8.

Rezolvare

Rezultă curentul nominal $I_n = 10{,}6$ A, secțiunea fazei conductelor de alimentare $s_F = 2{,}5$ FY cu $I_{ma} = 20$ A și $J_p = 21{,}2$ A/mm² (secțiunea $s_F = 1{,}5$ FY cu $I_{ma} = 14$ A nu respectă condiția stabilității termice la pornire $J_P = 35{,}3$ A/mm² > 35 A/mm²).

Releul termic va fi TSA 32 cu $I_s = 15$ A (cu o reglare între 9 și 15 A, domeniul în care este cuprins $I_n = 10{,}6$ A). Contactorul rezultă TCA *16* (*16* > *10,6* A). Pentru cele două aparate pe circuitul motorului rezultă $(I_F)_{RT} = 50$ A și $(I_F)_C = 35$ A.

Siguranța fuzibilă va rezulta ca cea mai mică valoare ce satisface sistemul:
$I_F \ge I_n = 10{,}6$ A $\Rightarrow I_F \ge 16$ A;
$I_F \ge I_p/2{,}5 = 5 \cdot 10{,}6/2{,}5 = 21{,}2$ A $\Rightarrow$
$I_F \ge 25$ A;

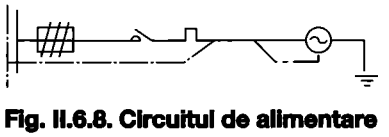


Fig. II.6.8. Circuitul de alimentare al unui motor (cu pornire directă).

$I_F \le (I_F)_{RT} = 50$ A $\Rightarrow I_F \le 50$ A;
$I_F \le (I_F)_C = 35$ A $\Rightarrow I_F \le 35$ A;
$I_F \le 3\ I_{ma} = 3 \cdot 20 = 60$ A $\Rightarrow I_F \le 50$ A
Rezultă $I_F = 25$ A.

Alegerea siguranței fuzibile pentru protecția la scurtcircuit a coloanelor electrice

Este situația frecvent întâlnită în calculul rețelelor electrice interioare de joasă tensiune.

Condițiile pentru alegerea mărimii fuzibilului sunt:

$$\begin{aligned} &I_F \ge I_n \\ &I_F \le 3\ I_{ma} \\ &I_F \ge (I_F)_{PS} \end{aligned} \qquad (6.4.10)$$

unde I_n, I_{ma} și $(I_F)_{PS}$ au semnificațiile arătate anterior. Siguranța fuzibilă va corespunde valorii minime care satisface sistemul 6.4.10.

6.4.7. Alegerea aparatelor de măsură ce se montează pe tablourile electrice

Alegerea voltmetrului. Aparatul este utilizat pentru măsurarea tensiunilor de fază și de linie. Se montează un singur voltmetru de *0-400* V sau *0-600* V prin intermediul unei chei voltmetrice cu șase poziții active și una de repaus (CV 67). Poziția de repaus este necesară pentru reglarea (prin aducere la zero) a aparatului.

Voltmetrul se protejează la scurtcircuit cu siguranțe cu $I_F = 6$ A sau *10* A.

Alegerea ampermetrelor. Aparatele sunt utilizate pentru măsurarea curentului pe liniile de alimentare. De regulă, pe tablourile de lumină se montează trei ampermetre, câte unul pe fiecare fază. Aceasta, deoarece tablourile de lumină, adesea, nu funcționează uniform încărcate pe cele 3 faze. În același timp, personalul de exploatare, având o evidență în timp a încărcării pe faze, poate lua decizii de echilibrare a sarcinii pe cele trei faze. Pe tablourile de forță se montează, de regulă, un singur ampermetru, deoarece fazele sunt practic echilibrate, marea majoritate a receptoarelor fiind trifazate. Ampermetrul nu se montează direct pe linia de alimentare ci prin intermediul unui reductor de curent.

Reductorul de curent este un transformator de curent cu raportul I_{np}/I_{ns}, unde:
I_{np} - este curentul nominal din primar
I_{ns} - curentul nominal din secundar. Acesta este, de regulă, $I_{ns} = 5$ A și, mai rar, *10* A sau *1* A. În acest fel, ampermetrele au aceeași construcție, schimbându-se numai scara cadranului astfel ca aceasta să corespundă curentului I_{np}.

Reductorul de curent se alege din gama sa de fabricație, punând condiția:

$$I_{np} \ge 1{,}1\ I_n \qquad (6.4.11)$$

unde I_n este curentul nominal ce trebuie măsurat. Se alege astfel pentru a evita o funcționare defectuoasă a reductorului

(în cazul unor suprasarcini la depășirea curentului I_{np} indicația ampermetrului nu mai este liniară) datorită saturației magnetice a transformatorului.

Legarea ampermetrului și transformatoarelor de curent pe o coloană trifazată a unui tablou de lumină se poate face ca în fig. II.6.9.

Alegerea contoarelor de energie activă și reactivă se face în funcție de condițiile de măsurare și preferințele pentru construcția aparatului. Contoarele se pot monta direct pe linia de alimentare atunci când suprasarcina admisibilă a contorului depășește valoarea curentului nominal al liniei sau prin reductoare de curent.

În fig. II.6.10 - II.6.12 sunt prezentate câteva din schemele de legare a contoarelor la rețea.

Contorul se va alege utilizând datele din tabelul II.6.22, în funcție de:
- felul coloanei electrice pe care se montează: monofazată sau trifazată;
- tensiunea rețelei;
- curentul nominal al coloanei și
- clasa de precizie dorită pentru contor.

Este de preferat ca pe coloanele tablourilor de forță, de regulă, echilibrate, să fie utilizate contoarele CA 32, iar pentru coloanele tablourilor de lumină, cele din tipul CA 43.

În cazurile în care există tarife diferențiate ale energiei electrice pentru consumul de zi (între 6,00 și 22,00) și consumul de noapte (22,00 - 6,00) și de vineri, ora 22,00, până luni, la ora 6,00, se utilizează contoare cu dublu tarif echipate cu ceas de comutare. În fig. II.6.14 este arătată schema unui astfel de contor monofazat (contorul 5 CM4 DTB - AEM Timișoara), iar în fig. II.6.15 se prezintă schema unui asemenea contor trifazat (tip BMT4) conectat direct.

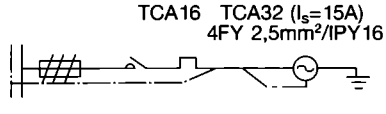


Fig. II.6.9 Circuitul de alimentare al unui motor cu:
$P_i = 4$ kW; $n = 750$ rot/min; $\eta = 0,80$; $\cos\varphi = 0,72$; $I_p / I_n = 5$ încărcat la sarcina nominală.

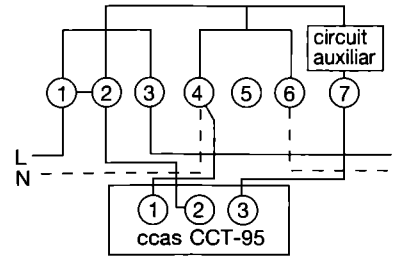


Fig. II.6.14. Schema contorului monofazat 5CM 4DTB.

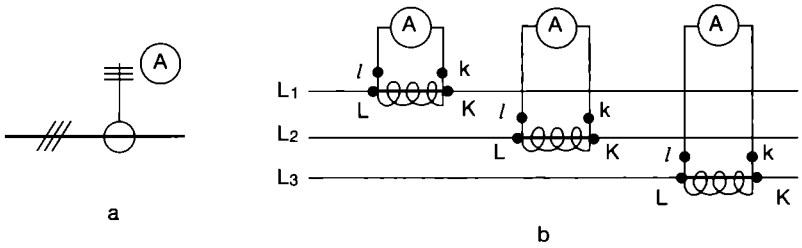


Fig. II.6.10. Legarea ampermetrelor pe o coloană trifazată a unui tablou de lumină:
a - schemă monofilară; b - schemă multifilară.

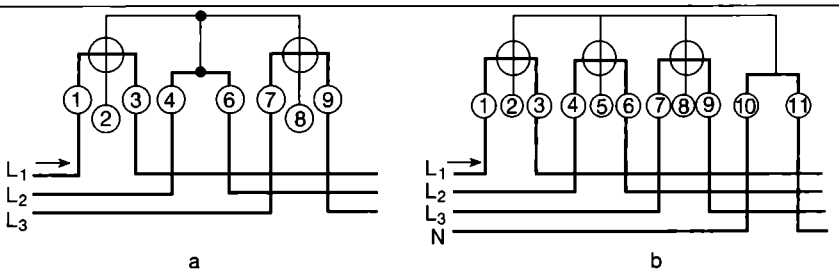


Fig. II.6.11. Schema de legare directă la rețea a contoarelor de energie activă:
a - contor T-2CA 32; b - contor T-2CA 43.

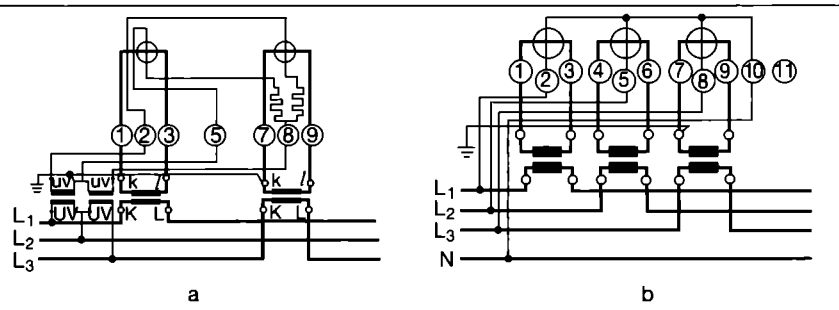


Fig. II.6.12. Schema de legare prin transformator de curent a contoarelor de energie activă:
a - contor T-2CA 32; b - contor T-2CA 43.

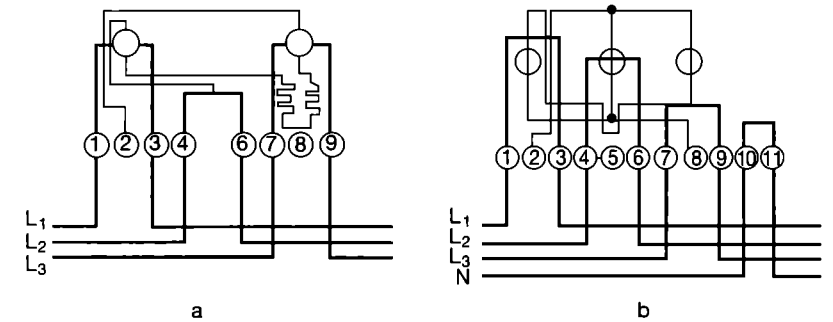


Fig. II.6.13. Schema de legare directă la rețea a contoarelor de energie reactivă:
a - contor T - 2CR 32; b - contor T - 2CR 43.

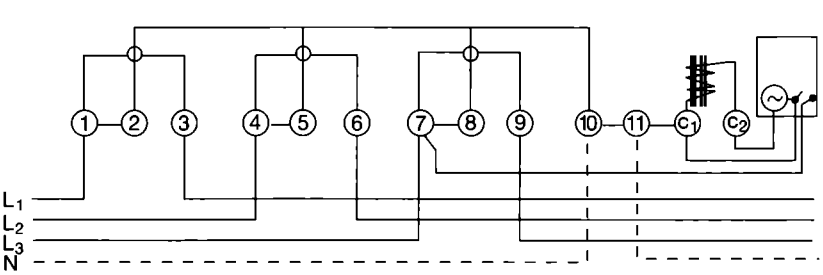


Fig. II.6.15. Schema contorului trifazat BMT4 - conectat direct.

6.5. Programe de proiectare a instalațiilor electrice de joasă tensiune

Atât fabricanții de aparataj electric, cât și diferite firme de software au dezvoltat și au difuzat pe piață programe de calcul al instalațiilor electrice de joasă tensiune.

În general, într-un astfel de program se pornește prin introducerea schemei de calculat, folosind o bibliotecă de simboluri pusă la dispoziție de program. Se introduc apoi caracteristicile generale ale schemei (valorile nominale ale tensiunii și frecvenței, schema de legare la pământ, factorul de putere neutral etc.), precum și caracteristicile fiecărui circuit (lungimea și tipul cablului, modul de pozare, polaritatea circuitului, valoarea sarcinii și alte caracteristici ale acesteia). Parametrii necesari calculului fiind numeroși, programul solicită valori numai pentru o parte dintre aceștia, pentru restul considerând valori implicite, care pot fi însă accesate și modificate la nevoie.

Programul realizează apoi calculul instalației și permite exploatarea rezultatelor: curenți de scurtcircuit, pierderile de tensiune, secțiuni de cabluri, rezistențe și reactanțe ale acestora, încărcări în diferite puncte, caracteristici ale aparatelor de protecție sau de comutație etc.

Programele dezvoltate de fabricanții de aparataj electric oferă, în general, mai multe detalii legate de aparate: realizează alegerea acestora, pot specifica echiparea lor cu auxiliare (telecomandă, declanșatoare, contacte auxiliare, relee de protecție diferențială), pot calcula valorile reglajelor necesare , pot lua în considerare tabelele de coordonare.

Un exemplu de astfel de program este Ecodial 3.2, program de calcul al rețelelor de joasă tensiune dezvoltat de Schneider Electric.

Programul are la bază ghidul de calcul european CENELEC R 064-003 și norma de instalare CEI 364. Limba de utilizare poate fi aleasă înaintea lansării programului (română, franceză sau engleză). Ecodial vine însoțit de o documentație tehnică și de un exemplu de calcul (în format electronic) și este prevăzut cu un „help" contextual.

Programul, personalizat prin introducerea datelor utilizatorului (nume, sigla, datele proiectului), generează rezultatele sub forma unor documente care pot fi anexate la dosarul proiectului (pagina de gardă, schema monofilară, prezentarea echipamentelor, lista componentelor, note de calcul).

Schneider Electric urmărește aducerea lui periodică la zi, pe măsura înnoirii ofertei de aparate sau a completării normelor internaționale care stau la baza programului.

Tabelul II.6.1. Valorile coeficientului de simultaneitate pentru locuințe

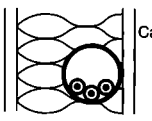
Nr. apartamente	c_s
1	0,95
2	0,93
4	0,89
6	0,83
10	0,64
16	0,45
20	0,38

Tabelul II.6.2. Date pentru exemplul de calcul 4, cap. 6.1

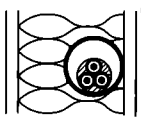
Nr.	P_i [kW]	n_k [rot/min]	η_k (-)	$\cos \varphi_k$ (-)	I_{nk} [A]	$\sin \varphi_k$ (-)
1	2,2	1500	0,79	0,80	5,3	0,6
2	2,2	1500	0,79	0,80	5,3	0,6
3	2,2	1500	0,79	0,80	5,3	0,6
4	4	3000	0,82	0,86	8,6	0,5102
5	4	3000	0,82	0,86	8,6	0,5102
6	7,5	1500	0,86	0,84	15,8	0,5426
7	11	1500	0,87	0,84	68,6	0,5426
8	11	1500	0,87	0,84	68,6	0,5426
9	11	1500	0,87	0,84	68,6	0,5426
10	3,0	750	0,78	0,70	8,4	0,7141
11	7*)	-	0,80	0,80	16,6	0,6

*) circuitul 11 este un circuit de prize trifazate pentru care s-au luat: $\cos\varphi = 0,8$ și $\eta = 0,8$.

Tabel II 6.3. Moduri de pozare de referință



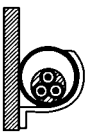
Conductoare izolate în tub în perete izolat termic — A1



Cablu multiconductor în tub în perete izolat termic — A2



Conductoare izolate în tub pe perete — B1

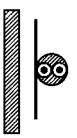


Cablu multiconductor în tub pe perete — B2

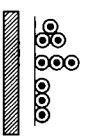


Cablu cu un conductor sau multiconductor pe un perete — C

Cablu cu un conductor sau multiconductor îngropat în pământ sau în tub îngropat — D

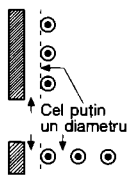


Cablu multiconductor în aer liber — E



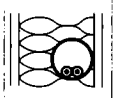
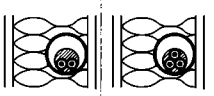
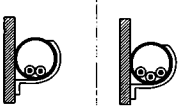
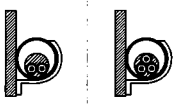
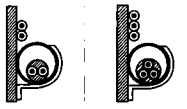
Cablu cu un conductor în aer liber apropiate — F

Distanța la perete mai mare decât diametrul cablului.

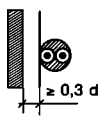
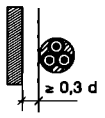
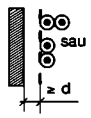
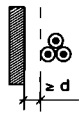
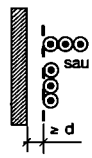
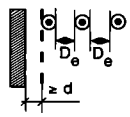
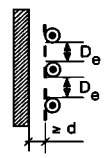


Cabluri cu un conductor în aer liber apropiate distanțate — G

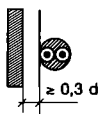
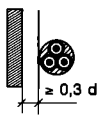
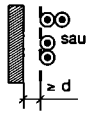
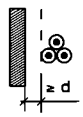
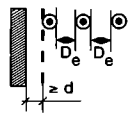
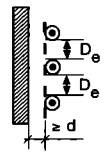
Tabel II 6.4.1. Curenți admisibili [A] pentru cabluri izolate cu PVC, 2 sau 3 conductoare încărcate. Temperatura conductorului 70°C Temperatura ambiantă 30°C.

Secțiune nominală a conductoarelor [mm²]	Mod pozare									
	A1		A2		B1		B2		C	
										
	Nr. conductoare									
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CUPRU										
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259
150	240	216	219	196	300	262	258	225	344	299
185	273	245	248	223	341	296	294	255	392	341
240	321	286	291	261	400	346	344	297	461	403
300	367	328	334	298	458	394	394	339	530	464
ALUMINIU										
4	20	18,5	19,5	17,5	25	22	24	21	28	25
6	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32
10	36	32	33	31	44	39	41	36	49	44
16	48	43	44	41	60	53	54	48	66	59
25	63	57	58	53	79	70	71	62	83	73
35	77	70	71	65	97	86	86	77	103	90
50	93	84	86	78	118	104	104	92	125	110
70	118	107	108	98	150	133	131	116	160	140
95	142	129	130	118	181	161	157	139	195	170
120	164	149	150	135	210	186	181	160	226	197
150	189	170	172	155	234	204	201	176	261	227
185	215	194	195	176	266	230	230	199	298	259
240	252	227	229	207	312	269	269	232	352	305
300	289	261	263	237	358	306	308	265	406	351

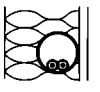
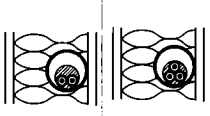
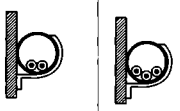
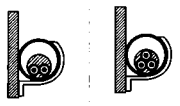
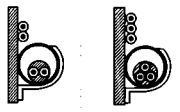
Tabel II 6.4.2. Curenți admisibili [A] pentru conductoare de cupru, izolate cu PVC. Temperatura conductorului 70°C Temperatura de referință 30°C.

Secțiune nominală a conductoarelor [mm²]	Metode de referință						
	Cabluri multiconductoare		Cabluri cu un conductor				
	Două conductoare încărcate	Trei conductoare încărcate	Două conductoare apropiate încărcate	Trei conductoare în treflă încărcate	Trei conductoare încărcate, în linie		
					Apropiate	Distanțate	
						Orizontal	Vertical
							
	Medota E	Metoda E	Metoda F	Metoda F	Metoda F	Metoda G	Metoda G
1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	22	18,5	-	-	-	-	-
2,5	30	25	-	-	-	-	-
4	40	34	-	-	-	-	-
6	51	43	-	-	-	-	-
10	70	60	-	-	-	-	-
16	94	80	-	-	-	-	-
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	-	-	754	656	689	852	795
500	-	-	868	749	789	982	920
630	-	-	1005	855	905	1138	1070

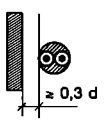
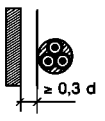
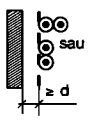
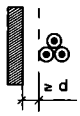
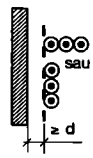
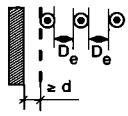
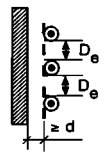
Tabel II 6.4.3. Curenți admisibili [A] pentru conductoare de aluminiu, izolate cu PVC.
Temperatura conductorului 70°C
Temperatura de referință 30°C.

Secțiune nominală a conductoarelor [mm²]	Metode de referință						
	Cabluri multiconductoare		Cabluri cu un conductor				
	Două conductoare încărcate	Trei conductoare încărcate	Două conductoare apropiate încărcate	Trei conductoare în treflă încărcate	Trei conductoare încărcate, în linie		
					Apropiate	Distanțate	
						Orizontal	Vertical
							
	Medota E	Metoda E	Metoda F	Metoda F	Metoda F	Metoda G	Metoda G
1	2	3	4	5	6	7	8
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
4	31	26	-	-	-	-	-
6	39	33	-	-	-	-	-
10	54	46	-	-	-	-	-
16	73	61	-	-	-	-	-
25	89	78	96	84	87	112	99
35	111	96	122	105	109	139	124
50	135	117	149	128	133	169	152
70	173	150	192	166	173	217	196
95	210	183	235	203	212	265	241
120	244	212	273	237	247	308	282
150	282	245	316	274	287	356	327
185	322	280	363	315	330	407	376
240	380	330	430	375	392	482	447
300	439	381	497	434	455	557	519
400	-	-	600	526	552	671	629
500	-	-	694	610	640	775	730
630	-	-	808	711	746	900	852

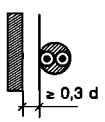
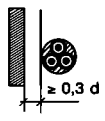
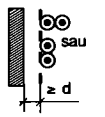
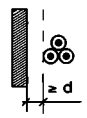
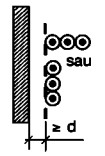
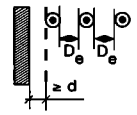
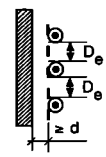
Tabel II 6.4.4. Curenți admisibili [A] pentru conductoare izolate cu XLPE, 2 sau 3 conductoare încărcate (Cu sau Al). Temperatura conductorului 90°C Temperatura ambiantă 30°C.

Secțiune nominală a conductoarelor [mm²]	Mod pozare A1		A2		B1		B2		C	
										
	Nr. conductoare									
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CUPRU										
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22
2,5	2,5	26	23	22	31	28	30	26	33	30
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40
6	45	40	32	29	41	36	38	34	46	41
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322
150	318	285	290	259	393	342	334	300	441	371
185	362	324	329	295	449	384	384	340	506	424
240	424	380	386	346	528	450	459	398	599	500
300	486	435	442	396	603	514	532	455	693	576
ALUMINIU										
4	27	25	26	24	33	29	31	28	35	32
6	35	32	33	31	43	38	40	35	45	41
10	48	44	45	41	59	52	54	48	62	57
16	64	58	60	55	79	71	72	64	84	76
25	84	76	78	71	105	93	94	84	101	90
35	103	94	96	87	130	116	115	103	126	112
50	125	113	115	104	157	140	138	124	154	136
70	158	142	145	131	200	179	175	156	198	174
95	191	171	175	157	242	217	210	188	241	211
120	220	197	201	180	281	251	242	216	280	245
150	253	226	230	206	307	267	261	240	324	283
185	288	256	262	233	351	300	360	272	371	323
240	338	300	307	273	412	351	358	318	439	382
300	387	344	352	313	471	402	415	364	508	440

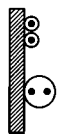
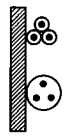
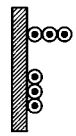
Tabel II 6.4.5. Curenți admisibili [A] pentru conductoare de cupru, izolate cu XLPE. Temperatura conductorului 90°C Temperatura mediului 30°C.

Secțiune nominală a conductoarelor [mm²]	Metode de referință						
	Cabluri multiconductoare		Cabluri cu un conductor				
	Două conductoare încărcate	Trei conductoare încărcate	Două conductoare apropiate încărcate	Trei conductoare în treflă încărcate	Trei conductoare încărcate, în linie		
					Apropiate	Distanțate	
						Orizontal	Vertical
							
	Medota E	Metoda E	Metoda F	Metoda F	Metoda F	Metoda G	Metoda G
1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	26	23	-	-	-	-	-
2,5	36	32	-	-	-	-	-
4	49	42	-	-	-	-	-
6	63	54	-	-	-	-	-
10	86	75	-	-	-	-	-
16	115	100	-	-	-	-	-
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	-	-	940	823	868	1085	1008
500	-	-	1083	946	998	1253	1169
630	-	-	1254	1088	1151	1454	1362

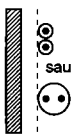
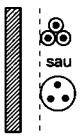
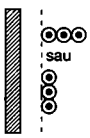
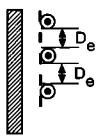
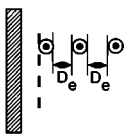
Tabel II 6.4.6. Curenți admisibili [A] pentru conductoare de aluminiu, izolație XLPE. Temperatura conductorului 90°C Temperatura mediului 30°C.

Secțiune nominală a conductoarelor [mm²]	Metode de referință						
	Cabluri multiconductoare		Cabluri cu un conductor				
	Două conductoare încărcate	Trei conductoare încărcate	Două conductoare apropiate încărcate	Trei conductoare în trefla încărcate	Trei conductoare încărcate, în linie		
					Apropiate	Distanțate	
						Orizontal	Vertical
							
	Medota E	Metoda E	Metoda F	Metoda F	Metoda F	Metoda G	Metoda G
1	2	3	4	5	6	7	8
4	38	32	-	-	-	-	-
6	49	42	-	-	-	-	-
10	67	58	-	-	-	-	-
16	91	77	-	-	-	-	-
25	108	97	121	103	107	138	122
35	135	120	150	129	135	172	153
50	164	146	184	159	165	210	188
70	211	187	237	206	215	271	244
95	257	227	289	253	264	332	300
120	300	263	337	296	308	387	351
150	346	304	389	343	358	448	408
185	397	347	447	395	413	515	470
240	470	409	530	471	492	611	561
300	543	471	613	547	571	708	652
400	-	-	740	663	694	856	792
500	-	-	856	770	806	991	921
630	-	-	996	899	942	1154	1077

Tabel II 6.4.7. Curenți admisibili [A] pentru conductoare de cupru cu izolație minerală și manta de cupru sau PVC. Temperatura conductorului 70°C Temperatura mediului 30°C.

Secțiune nominală a conductoarelor [mm²]	Metode de referință		
		Trei conductoare	
	Două conductoare sau un cablu cu două conductoare încărcate	Cablu multiconductor sau cabluri cu un conductor în treflă	Cabluri cu un conductor apropiate în linei
			
	Medota C	Metoda C	Metoda C
1	2	3	4
500 V			
1,5	23	19	21
2,5	31	26	29
4	40	35	38
750 V			
1,5	25	21	23
2,5	34	28	31
4	45	37	41
6	57	48	52
10	77	65	70
16	102	86	92
25	133	112	120
35	163	137	147
50	202	169	181
70	247	207	221
95	296	249	264
120	340	286	303
150	388	327	346
185	440	371	392
240	514	434	457

Tabel II 6.4.8. Curenți admisibili [A] pentru conductoare de cupru cu izolație minerală și manta de cupru sau PVC. Temperatura conductorului 70°C Temperatura mediului 30°C.

Secțiune nominală a conductoarelor [mm²]	Metode de referință				
	Două conductoare sau un cablu cu două conductoare încărcate	Trei conductoare încărcate			
		Cablu multiconductor sau cabluri cu un conductor în trefilă	Cabluri cu un conductor apropiate în linei	Cabluri cu un conductor, distanțate vertical în linie	Cabluri cu un conductor distanșate orizontal în linie
					
	Medota E sau F	Metoda E sau F	Metoda F	Metoda G	Metoda G
1	2	3	4		
500 V					
1,5	25	21	23	26	29
2,5	33	28	31	34	39
4	44	37	41	45	51
750 V					
1,5	26	22	26	28	32
2,5	36	30	34	37	43
4	47	40	45	49	56
6	60	51	57	62	71
10	82	69	77	84	95
16	109	92	102	110	125
25	142	120	132	142	162
35	174	147	161	173	197
50	215	182	198	213	242
70	264	223	241	259	294
95	317	267	289	309	351
120	364	308	331	353	402
150	416	352	377	400	454
185	472	399	426	446	507
240	552	466	496	497	565

Tabelul II.6.5 Factorii de corecție K_1 pentru temperaturi ambiante de 30°C aplicabili valorilor curenților admisibili pentru cabluri în aer liber

Temperatură ambiantă [°C]	Izolație		
	PVC	XLPE	Minerală* Manta PVC sau cablu neizolat și accesibil 70°C
10	1,22	1,15	1,26
15	1,17	1,12	1,20
20	1,12	1,08	1,14
25	1,06	1,04	1,07
30	1,00	1,00	1,00
35	0,94	0,96	0,93
40	0,87	0,91	0,85
45	0,79	0,87	0,87
50	0,71	0,82	0,67
55	0,81	0,76	0,57
60	0,50	0,71	0,45
65	-	0,65	-
70	-	0,58	-
75	-	0,50	-
80	-	0,41	-
85	-	-	-
90	-	-	-
95	-	-	-

* Pentru temperaturi ambiante mai ridicate, a se consulta fabricantul.

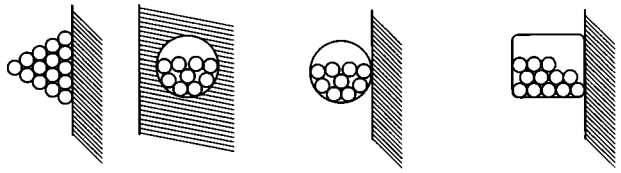
Tabelul II.6.6.1 Factorii de corecție K_2 pentru grupări de mai multe circuite sau mai multe cabluri multiconductoare aplicabili valorilor curenților admisibili din tabelele II 6.4.

Nr. crt.	Dispunerea cablurilor apropiate	Numărul de circuite sau de cabluri multiconductoare											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
1	Grupări în aer pe o suprafață, încastrate sau închise (vezi nota 8)	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38
2	a) Strat simplu pe perete, planșeu sau tăvi neperforate cu contact (vezi nota 9)	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Fără factor de reducere suplimentară pentru mai mult de nouă circuite sau cabluri multiconductoare		
	b) Idem, cu spațiu egal cu diametrul exterior d (vezi nota 10)	1,00	0,94	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90			
3	a) Strat simplu fixat sub plafon cu contact (vezi nota 11)	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61			
	b) Idem, cu spațiu egal cu diametru exterior d (vezi nota12)	0,95	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85			
4	Strat simplu pe tăvi perforate orizontale sau verticale cu contact	1,00	0,88	0,82	0,78	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
5	Strat simplu, pe suport tip scară, consolă, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

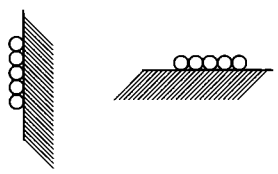
Nota 1 - Acești factori se aplică grupărilor omogene de cabluri, încărcate egal.
Nota 2 - Atunci când distanța orizontală între cabluri învecinate este mai mare de două ori diametrul exterior, nu este necesar nici un factor de corecție.
Nota 3 - Aceeași factori de corecție se aplică:
- la grupări de două sau trei cabluri cu un conductor,
- cabluri multiconductoare.

Nota 4 - Dacă o grupare este constituită din cabluri cu două sau trei conductoare, numărul total de cabluri este luat ca număr de circuite, și factorul de corecție este aplicat tabelelor pentru două conductoare încărcate pentru cabluri cu două conductoare și tabelelor pentru trei conductoare încărcate pentru cabluri cu trei conductoare.
Nota 5 - Dacă o grupare este constituită din n cabluri cu un conductor, el poate fi considerat fie ca n/2 circuite de două conductoare încărcate, fie ca n/3 circuite de trei conductoare încărcate.
Nota 6 - Valorile indicate sunt valori medii în domeniul dimensiunilor conductoarelor și a modului de pozare din tabelele II 6.4
Nota 7 - Pentru anumite instalații și pentru moduri de pozare care nu sunt prevăzute în tabele, poate fi corespunzătoare utilizarea factorilor calculați pentru cazuri specifice.

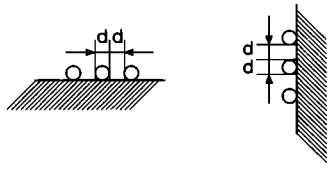
Nota 8



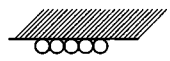
Nota 9



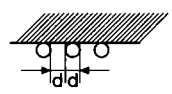
Nota 11



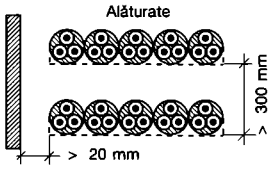
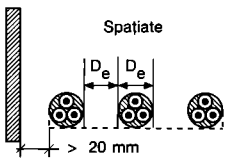
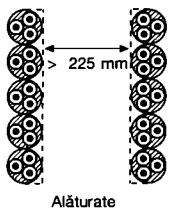
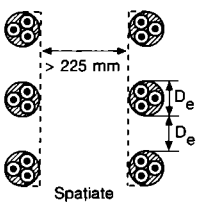
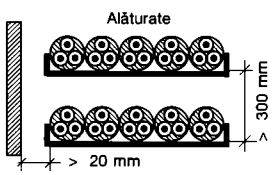
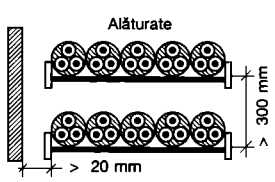
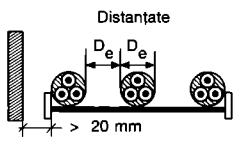
Nota 10



Nota 12



Tabelul II 6.6.2 Factorii de corecție K_2 ai grupării pentru mai multe cabluri conductoare (nota 1) aplicabili valorilor pentru cabluri multiconductoare pozate în aer liber (Tabelele 6.4.2, 6.4.3, 6.4.5, 6.4.6, și 6.4.8).

Nr. crt.	Mod de pozare	Număr de țevi	Număr de cabluri 1	2	3	4	6	9
1	Țevi perforate (nota 2)							
		1	1,00	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73
		2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
		3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
		6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,68	0,64
		1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	-
		2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	-
		3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	-
2	Tăvi verticale perforate (nota 3)							
		1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
		2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
		1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	-
		2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	-
3	Tăvi neperforate							
		1	0,97	0,84	0,78	0,75	0,71	0,68
		2	0,97	0,83	0,76	0,72	0,68	0,63
		3	0,97	0,82	0,75	0,71	0,66	0,61
		6	0,97	0,81	0,73	0,69	0,83	0,58
4	Suporturi tip scară, console etc (nota 2)							
		1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
		2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
		6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,68	0,64
		1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
		2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	-
		3	1,00	0,96	0,97	0,96	0,93	-

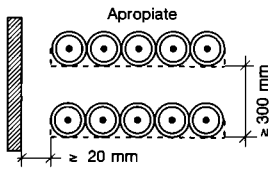
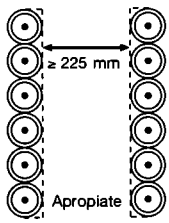
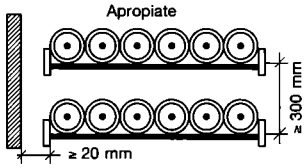
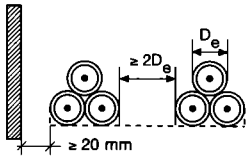
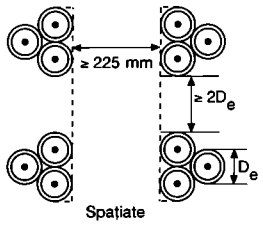
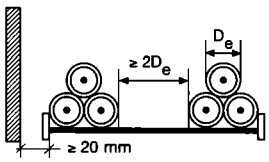
Factorii sunt aplicabili straturilor simple de cabluri așa cum sunt reprezentate mai sus, dar nu se pot aplica cablurilor dispuse în straturi. Valorile pentru asemenea dispuneri pot fi sensibil mai mici și trebuie determinate printr-o metodă corespunzătoare.

Nota 1 - Valorile indicate sunt medii pentru tipurile de cabluri și domeniu de secțiuni luate în considerare.

Nota 2 - Valorile sunt indicate pentru o distanță verticală între tăvi de 300 mm și până la 20 mm între tăvi și perete. Pentru distanțe mai mici, factorii ar trebui reduși.

Nota 3 - Valorile sunt indicate pentru o distanță orizontală între tăvi de 225 mm, tăvile fiind montate spate în spate. Pentru distanțe mai mici, factorii ar trebui reduși.

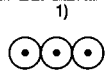
Tabelul II 6.6.3 Factorii de corecție K_2 ai grupării pentru mai multe cabluri multiconductoare (nota 1)
Aplicabili valorilor pentru un cablu conductor pozate în aer liber
(Mod de pozare E din tabelele 6.4.2., 6.4.3, 6.4.5, 6.4.6 și 6.4.8)

Nr. crt.	Mod de pozare	Număr de tăvi	Număr de circuite trifazate (nota 2) 1	2	3	De utilizat pentru
1	Tăvi perforate (nota 3) 	1	0,98	0,91	0,87	Trei cabluri în formație orizontală
		2	0,96	0,87	0,81	
		3	0,95	0,85	0,78	
2	Tăvi verticale perforate (nota 4) 	1	0,96	0,86	-	Trei cabluri în formație verticală
		2	0,95	0,84	-	
3	Suport tip scară console etc. (nota 3) 	1	1,00	0,97	0,96	Trei cabluri în formație orizontală
		2	0,98	0,93	0,89	
		3	0,97	0,90	0,86	
4	Suport tip scară, console etc (nota 3) 	1	1,00	0,97	0,96	
		2	0,98	0,93	0,89	
		3	0,97	0,90	0,86	
5	Tăvi verticale perforate (nota 4) 	1	1,00	0,91	0,89	Trei cabluri în treflă
		2	1,00	0,90	0,86	
6	Suport tip scară, console etc (nota 3) 	1	1,00	1,00	1,00	
		2	0,97	0,95	0,93	
		3	0,96	0,94	0,94	

Factorii sunt aplicabili straturilor simple de cabluri așa cum sunt reprezentate mai sus, dar nu se pot aplica cablurilor dispuse în straturi. Valorile pentru asemenea dispuneri pot fi sensibil mai mici și trebuie determinate printr-o metodă corespunzătoare.

Nota 1 - Valorile indicate sunt valori medii pentru tipurile de cabluri și domeniu de secțiuni luate în considerare.
Nota 2 - Pentru circuite care conțin mai multe cabluri în paralel pe fază, ar trebui ca fiecare grupare de trei circuite să fie considerat ca un circuit pentru aplicarea acestui tabel.
Nota 3 - Valorile sunt indicate pentru o distanță verticală între tăvi de 300 mm. Pentru distanțe mai mici, factorii ar trebui reduși.
Nota 4 - Valorile sunt indicate pentru o distanță orizontală între tăvi de 225 mm, tăvile fiind montate spate în spate și la distanță dmai puțin 20 mm între tavă și perete. Pentru distanțe mai mici , factle fiind montate spate în spate și la distanță de mai puțin 20 mm între tavă și perete. Pentru distanțe mai mici, factorii ar trebui reduși.

Tabelul II 6.7 Sarcina admisibilă, pozarea în pământ, pentru condiții de funcționare normale
Cablu cu U_0/U = 0,6/1 kV

Materialul izolant	PVC					XLPE			
Temperatura de funcționare admisă [°C]	70 °C					90 °C			
Dispunerea	1)	2) 	3) 		1) 	3)			
Secțiunea nominală conductor cupru [mm²]	Sarcina admisibilă, conductor cupru, în A								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,5	40	32	26	-	-	48	30	32	39
2,5	54	42	34	-	-	63	40	43	51
4	70	54	44	-	-	82	52	55	66
6	90	68	56	-	-	103	64	68	82
10	122	90	73	-	-	137	86	90	109
16	160	116	98	107	127	177	111	115	139
25	206	-	128	137	163	229	143	149	179
35	249	-	157	163	195	275	173	178	213
50	296	-	183	195	230	327	205	211	251
70	365	-	228	239	282	402	252	259	307
95	438	-	275	2876	336	482	303	310	366
120	499	-	313	326	382	550	346	352	416
150	561	-	353	366	428	618	390	396	465
185	637	-	399	414	483	701	441	449	526
240	743	-	464	481	561	819	511	521	610
300	843	-	524	542	632	931	580	587	689
400	986	-	600	624	730	1073	663	669	788
500	1125	-	-	698	823	1223	-	748	889
Secțiunea nominală conductor aluminiu [mm²]	Sarcina admisibilă, conductor cupru, în A								
4	52	42	36	-	-	63	40	-	-
6	68	52	45	-	-	80	49	-	-
10	86	69	60	-	-	106	66	-	-
16	113	90	78	-	-	137	87	-	-
25	150	115	99	-	-	177	111	-	-
35	192	140	118	127	151	212	132	137	164
50	229	165	142	151	179	253	157	163	195
70	282	200	176	186	218	311	195	201	238
95	339	245	211	223	261	374	233	240	284
120	388	275	242	254	297	427	266	274	323
150	435	315	270	285	332	479	299	308	361
185	494	355	308	323	376	543	340	350	408
240	578	415	363	378	437	637	401	408	476
300	654	465	412	427	494	721	455	462	537
400	763	-	475	496	572	832	526	531	616
500	873	-	-	562	649	949	-	601	699

1) Încărcarea admisibilă în instalații de curent continuu.
2) Cabluri cu 2 conductoare încărcate.
3) Cabluri trifazate cu 3 conductoare încărcate.

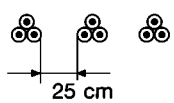
Tabelul II 6.8 Factorii de corecție specifică solului f_1, pozare în pământ.

Temperatura de funcționare admisă	Temperatura solului	Rezistența termică specifică solului, [K·m/W] 0,7 – Gradul de încărcare					1,0 – Gradul de încărcare					1,5 – Gradul de încărcare					2,5 – Gradul de încărcare
[°C]	[°C]	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,5÷1,00
Cablu cu XLPE 90 °C	5	1,24	1,21	1,18	1,13	1,07	1,11	1,09	1,07	1,03	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94	0,89
	10	1,23	1,19	1,16	1,11	1,05	1,09	1,07	1,05	1,01	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,86
	15	121	1,17	1,14	1,03	1,03	1,07	1,05	1,02	0,99	0,95	0,95	0,93	0,92	0,91	0,89	0,84
	20	1,19	1,15	1,12	1,06	1,00	1,05	1,02	1,00	0,96	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,86	0,81
	25	-	-	-	-	-	1,02	1,00	0,98	0,94	0,90	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,78
	30	-	-	-	-	-	-	-	0,95	0,91	0,88	0,87	0,86	0,84	0,83	0,81	0,75
	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,82	0,80	0,78	0,72
	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68
Cablu cu PVC 70 °C	5	1,20	1,26	1,22	1,15	1,01	1,13	1,11	1,08	1,04	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,89	0,86
	10	1,27	1,23	1,19	1,13	1,06	1,11	1,08	1,06	1,01	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,86	0,83
	15	1,25	1,21	1,17	1,10	1,03	1,08	1,06	1,03	0,99	0,94	0,93	0,92	0,91	0,85	0,84	0,79
	20	1,23	1,18	1,14	1,08	1,01	1,06	1,03	1,00	0,96	0,91	0,90	0,80	0,87	0,85	0,83	0,76
	25	-	-	-	-	-	1,03	1,00	0,97	0,93	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,79	0,72
	30	-	-	-	-	-	-	-	0,94	0,80	0,85	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,08
	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77	0,74	0,72	0,69
	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59

Factorul de corecție f_1 se utilizează numai împreună cu factorul de corecție f_2 din tabelele 6.9.1...6.9.5.

Tabelul II 6.9.1 Factorii de corecție f_2, pozare în pământ
Cablu cu trei conductoare în sistem monofazat

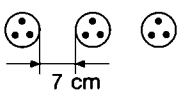
Dispunerea



Tipul constructiv	Numărul de sisteme	Rezistența termică specifică solului [K·m/W] 0,7 – Gradul de încărcare					1,0 – Gradul de încărcare					1,5 – Gradul de încărcare					2,5 – Gradul de încărcare				
-	-	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00
Cablu cu PVC 0,6/1 kV	1	0,90	0,91	0,93	0,96	0,91	0,98	0,99	1,00	0,96	0,91	1,05	1,04	1,03	0,97	0,91	1,14	1,09	1,04	0,97	0,91
	2	0,83	0,85	0,85	0,81	0,76	0,93	0,92	0,89	0,82	0,76	0,98	0,95	0,90	0,82	0,76	1,03	0,96	0,90	0,82	0,76
	3	0,80	0,79	0,78	0,72	0,66	0,87	0,86	0,80	0,72	0,66	0,93	0,86	0,80	0,73	0,66	0,95	0,87	0,81	0,73	0,66
	4	0,77	0,76	0,74	0,67	0,61	0,83	0,81	0,75	0,67	0,61	0,89	0,82	0,75	0,68	0,61	0,90	0,82	0,76	0,68	0,61
	5	0,75	0,76	0,70	0,63	0,57	0,84	0,77	0,71	0,63	0,57	0,85	0,77	0,71	0,63	0,57	0,86	0,78	0,72	0,64	0,47
	6	0,73	0,73	0,67	0,60	0,55	0,81	0,74	0,68	0,60	0,55	0,82	0,74	0,68	0,61	0,55	0,83	0,75	0,69	0,61	0,33
	8	0,70	0,69	0,63	0,56	0,51	0,77	0,64	0,56	0,51	0,77	0,70	0,64	0,57	0,51	0,78	0,78	0,71	0,64	0,57	0,51
	10	0,67	0,66	0,60	0,53	0,48	0,74	0,67	0,61	0,54	0,48	0,74	0,67	0,61	0,54	0,48	0,75	0,67	0,61	0,54	0,48

Cablu cu două și trei conductoare în sisteme monofazate și curent continuu

Tabelul II 6.9.2 Factorii de corecție f_2, pozare în pământ. Cablu cu trei conductoare încărcate în sistem trifazat.

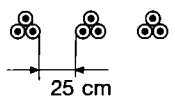
Tipul constructiv	Numărul de sisteme	Dispunerea	Rezistența termică specifică solului [K·m/W] 0,7 Gradul de încărcare					1,0 Gradul de încărcare					1,5 Gradul de încărcare					2,5 Gradul de încărcare				
																						
-	-		0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00
Cablu cu XLPE 0,6/1 kV[2]	1		1,02	1,03	0,99	0,94	0,89	1,06	1,05	1,00	0,94	0,89	1,09	1,06	1,01	0,94	0,89	1,11	1,07	1,02	0,95	0,89
	2		0,95	0,89	0,84	0,77	0,72	0,98	0,91	0,85	0,78	0,72	0,99	0,92	0,86	0,78	0,72	1,01	0,94	0,87	0,79	0,72
	3		0,86	0,80	0,74	0,68	0,62	0,89	0,81	0,75	0,68	0,62	0,90	0,83	0,77	0,69	0,62	0,92	0,84	0,77	0,69	0,62
	4		0,82	0,75	0,69	0,63	0,57	0,84	0,76	0,70	0,63	0,57	0,85	0,78	0,71	0,63	0,57	0,86	0,78	0,72	0,64	0,57
	5		0,78	0,71	0,65	0,59	0,53	0,80	0,72	0,66	0,59	0,53	0,81	0,73	0,67	0,59	0,53	0,82	0,74	0,69	0,60	0,53
	6		0,75	0,68	0,63	0,56	0,51	0,77	0,69	0,63	0,56	0,51	0,78	0,70	0,64	0,57	0,51	0,79	0,71	0,65	0,57	0,51
	8		0,71	0,64	0,59	0,52	0,47	0,72	0,65	0,59	0,52	0,47	0,73	0,66	0,60	0,52	0,47	0,74	0,66	0,60	0,53	0,47
	10		0,68	0,61	0,56	0,49	0,44	0,69	0,62	56	0,50	0,44	0,70	0,63	0,57	0,50	0,44	0,71	0,63	0,57	0,50	0,44
Cablu cu PVC 0,6/1 kV[2]	1		0,91	0,92	0,94	0,94	0,89	0,97	0,97	1,00	0,94	0,89	1,04	1,03	1,01	0,94	0,89	1,13	1,07	1,02	0,95	0,89
	2		0,86	0,87	0,85	0,77	0,72	0,91	0,90	0,86	0,78	0,72	0,97	0,93	0,87	0,78	0,72	1,01	0,94	0,88	0,79	0,72
	3		0,82	0,80	0,75	0,68	0,62	0,86	0,82	0,76	0,68	0,62	0,91	0,84	0,77	0,69	0,62	0,92	0,84	0,78	0,69	0,62
	4		0,80	0,76	0,70	0,63	0,57	0,84	0,77	0,71	0,63	0,57	0,86	0,78	0,72	0,63	0,57	0,87	0,79	0,73	0,64	0,57
	5		0,78	0,72	0,66	0,59	0,53	0,81	0,73	0,67	0,59	0,53	0,81	0,74	0,68	0,59	0,53	0,82	0,75	0,68	0,60	0,53
	6		0,76	0,69	0,64	0,56	0,53	0,79	0,70	0,64	0,56	0,51	0,78	0,71	0,65	0,57	0,51	0,79	0,72	0,65	0,57	0,51
	8		0,72	0,65	0,59	0,52	0,47	0,73	0,66	0,60	0,52	0,47	0,74	0,67	0,61	0,52	0,47	0,75	0,67	0,61	0,53	0,47
	10		0,69	0,62	0,57	0,49	0,44	0,70	0,63	0,57	0,50	0,44	0,71	0,64	0,58	0,50	0,44	0,71	0,64	0,58	0,50	0,44

[1] În sisteme trifazate aceste valori sunt valabile de asemenea, pentru cabluri pentru 0,6 kV/1kV cu 4 sau 5 conductoare.

[2] În sisteme de curent continuu aceste valori sunt valabile, de asemenea, pentru cabluri cu un conductor pentru 0,6/1 kV.

Tabelul II 6.9.3 Factorii de corecție f_2, pozare în pământ. Cablu cu un conductor în sisteme trifazate grupate în trefilă.

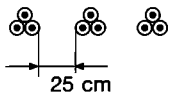
Dispunerea



Tipul constructiv	Numărul de sisteme	Rezistența termică specifică solului [K·m/W] 0,7 — Gradul de încărcare					1,0 — Gradul de încărcare					1,5 — Gradul de încărcare					2,5 — Gradul de încărcare				
-	-	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00
Cablu cu XLPE 0,6/1 kV	1	1,09	1,04	0,99	0,91	0,87	1,11	1,05	1,00	0,93	0,87	1,13	1,07	1,01	0,94	0,87	1,17	1,09	1,03	0,94	0,87
	2	0,97	0,90	0,84	0,77	0,71	0,98	0,91	0,85	0,77	0,71	1,06	0,92	0,86	0,77	0,71	1,02	0,94	0,87	0,78	0,71
	3	0,81	0,80	0,74	0,67	0,61	0,89	0,82	0,78	0,67	0,61	0,90	0,82	0,76	0,68	0,61	0,92	0,83	0,76	0,68	0,61
	4	0,83	0,75	0,69	0,62	0,56	0,84	0,76	0,70	0,62	0,56	0,85	0,77	0,70	0,62	0,56	0,82	0,78	0,71	0,63	0,56
	5	0,79	0,71	0,65	0,58	0,52	0,80	0,72	0,66	0,58	0,52	0,80	0,73	0,66	0,58	0,52	0,81	0,73	0,67	0,59	0,52
	6	0,76	0,08	0,62	0,55	0,50	0,77	0,69	0,63	0,55	0,50	0,77	0,70	0,63	0,56	0,50	0,78	0,70	0,64	0,56	0,50
	8	0,72	0,64	0,58	0,51	0,46	0,72	0,65	0,59	0,52	0,46	0,73	0,63	0,59	0,52	0,46	0,74	0,06	0,59	0,52	0,46
	10	0,69	0,63	0,56	0,41	0,44	0,69	0,62	0,56	0,49	0,44	0,70	0,62	0,56	0,49	0,44	0,70	0,63	0,57	0,49	0,44
Cablu cu PVC 0,6/1 kV	1	1,01	1,02	0,99	0,91	0,87	1,04	1,05	1,00	0,93	0,87	1,07	1,06	1,01	0,94	0,87	1,11	1,08	1,01	0,94	0,87
	2	0,94	0,89	0,82	0,77	0,71	0,97	0,91	0,85	0,77	0,71	0,90	0,92	0,80	0,77	0,71	1,01	0,93	0,87	0,78	0,71
	3	0,80	0,79	0,74	0,67	0,61	0,89	0,81	0,75	0,67	0,61	0,90	0,83	0,76	0,68	0,61	0,91	0,83	0,77	0,68	0,61
	4	0,82	0,75	0,69	0,62	0,56	0,84	0,76	0,70	0,62	0,56	0,85	0,77	0,71	0,62	0,56	0,80	0,78	0,71	0,63	0,56
	5	0,78	0,71	0,65	0,58	0,52	0,80	0,72	0,60	0,58	0,52	0,80	0,73	0,66	0,58	0,52	0,81	0,73	0,67	0,59	0,52
	6	0,75	0,68	0,62	0,55	0,50	0,77	0,69	0,63	0,55	0,50	0,77	0,70	0,64	0,56	0,50	0,78	0,70	0,64	0,56	0,50
	8	0,71	004	0,58	0,51	0,46	0,72	0,65	0,50	0,52	0,46	0,73	0,65	0,59	0,52	0,46	0,73	0,60	0,60	0,52	0,46
	10	0,68	0,61	0,55	0,41	0,44	0,69	0,62	0,56	0,49	0,44	0,69	0,62	0,56	0,49	0,44	0,70	0,63	0,57	0,49	0,44

Tabelul II 6.9.4 Factorii de corecție f_2, pozare în pământ. Cablu cu un conductor în sisteme trifazate grupate în trefilă.

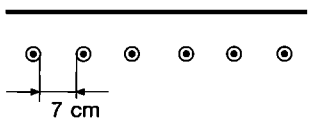
Dispunerea



Tipul constructiv	Numărul de sisteme	Rezistența termică specifică solului [K·m/W] 0,7 — Gradul de încărcare					1,0 — Gradul de încărcare					1,5 — Gradul de încărcare					2,5 — Gradul de încărcare				
-	-	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00
Cablu cu XLPE 0,6/1 kV	1	1,00	1,04	0,99	0,93	0,87	1,11	1,05	1,00	0,93	0,87	1,13	1,07	1,01	0,94	0,87	1,17	1,09	1,03	0,94	0,87
	2	1,01	0,34	0,89	0,82	0,75	1,02	0,95	0,89	0,82	0,75	1,04	0,57	0,90	0,82	0,75	1,06	0,58	0,91	0,83	0,75
	3	0,94	0,87	0,81	0,74	0,67	0,95	88	0,82	0,74	0,67	0,97	0,89	0,82	0,74	0,67	0,99	0,90	0,83	0,74	0,67
	4	0,91	0,84	0,78	0,70	0,64	0,92	0,84	0,78	0,70	0,64	0,53	0,85	0,79	0,70	0,64	0,55	0,86	0,79	0,71	0,64
	5	0,88	0,80	0,74	0,67	0,60	0,89	0,81	0,75	0,67	0,60	0,90	0,82	0,75	0,67	0,60	0,91	0,83	0,76	0,67	0,60
	6	0,88	0,79	0,72	0,65	0,59	0,87	0,79	0,73	0,65	0,59	0,88	0,80	0,73	0,65	0,59	0,89	0,81	0,74	0,63	0,59
	8	0,83	0,76	0,70	0,62	0,56	0,84	0,76	0,70	0,62	0,56	0,85	0,77	0,70	0,62	0,56	0,86	0,78	0,71	0,62	0,56
	10	0,81	0,74	0,68	0,60	0,54	0,82	0,74	0,68	0,60	0,54	0,83	0,75	0,68	0,61	0,54	0,84	0,76	0,69	0,61	0,54
Cablu cu PVC 0,6/1 kV	1	1,01	1,02	0,99	0,93	0,87	1,04	1,05	1,00	0,93	0,87	1,07	1,06	1,01	0,94	0,87	1,11	1,08	1,01	0,94	0,87
	2	0,97	0,95	0,89	0,82	0,75	1,00	0,96	0,90	0,82	0,75	1,08	0,97	0,91	0,82	0,75	1,06	0,98	0,92	0,83	0,75
	3	0,94	0,88	0,82	0,74	0,67	0,97	0,88	0,82	0,74	0,67	0,97	0,89	0,83	0,74	0,67	0,98	0,90	0,83	0,74	0,67
	4	0,91	0,84	0,78	0,70	0,64	0,92	0,85	0,79	0,70	0,64	0,93	0,86	0,79	0,70	0,64	0,95	0,87	0,80	0,71	0,64
	5	0,88	0,81	0,75	0,67	0,60	0,89	0,82	0,76	0,67	0,60	0,90	0,82	0,76	0,67	0,60	0,91	0,83	0,77	0,67	0,60
	6	0,86	0,79	0,73	0,63	0,59	0,87	0,80	0,74	0,65	0,59	0,88	0,81	0,74	0,65	0,59	0,89	0,81	0,75	0,65	0,59
	8	0,83	0,76	0,70	0,62	0,56	0,84	0,77	0,71	0,62	0,56	0,85	0,78	0,71	0,62	0,56	0,86	0,78	0,72	0,62	0,56
	10	0,82	0,75	0,69	0,60	0,54	0,82	0,75	0,69	0,60	0,54	0,83	0,76	0,69	0,61	0,54	0,84	0,76	0,70	0,61	0,54

Tabelul II 6.9.5 Factorii de corecție f_2, pozare în pământ.
Cablu cu un conductor în sisteme trifazate pozate alăturat.

Dispunerea



Tipul constructiv	Numărul de sisteme	Rezistența termică specifică solului [K·m/W] 0,7 — Gradul de încărcare					1,0 — Gradul de încărcare					1,5 — Gradul de încărcare					2,5 — Gradul de încărcare				
-	-	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00	0,50	0,60	070	0,85	1,00
Cablu cu XLPE 0,6/1 kV	1	1,08	1,05	0,99	0,91	0,85	1,13	1,07	1,00	0,92	0,85	1,48	1,09	1,01	0,92	0,85	1,19	1,11	1,03	0,93	0,85
	2	1,01	0,93	0,86	0,77	0,71	1,03	0,94	0,87	0,78	0,71	1,05	0,95	0,88	0,78	0,71	1,06	0,96	0,88	0,79	0,71
	3	0,92	0,84	0,77	0,69	0,62	0,93	0,85	0,77	0,69	0,62	0,95	0,86	0,78	0,69	0,62	0,96	0,86	0,79	0,69	0,62
	4	0,88	0,80	0,73	0,65	0,58	0,89	0,80	0,73	0,65	0,58	0,90	0,81	0,74	0,65	0,58	0,91	0,82	0,74	0,63	0,58
	5	0,84	0,76	0,69	0,61	0,55	0,85	0,77	0,70	0,61	0,55	0,87	0,78	0,70	0,62	0,55	0,87	0,78	0,71	0,62	0,55
	6	0,82	0,74	0,67	0,59	0,53	0,88	0,75	0,68	0,60	0,53	0,84	0,75	0,68	0,60	0,53	0,85	0,76	0,69	0,60	0,53
	8	0,79	0,71	0,64	0,57	0,51	0,80	0,71	0,65	0,57	0,51	0,81	0,72	0,65	0,57	0,51	0,81	0,72	0,65	0,57	0,51
	10	0,77	0,69	0,62	0,55	0,49	0,78	0,69	0,63	0,55	0,49	0,78	0,70	0,63	0,55	0,49	0,79	0,70	0,63	0,55	0,49
Cablu cu PVC 0,6/1 kV	1	0,96	0,97	0,98	0,91	0,85	1,01	1,01	1,00	0,92	0,85	1,07	1,05	1,01	0,92	0,85	1,16	1,15	1,02	0,93	0,85
	2	0,92	0,89	0,86	0,77	0,71	0,96	0,94	0,87	0,78	0,71	1,00	0,95	0,88	0,78	0,71	1,05	0,97	0,89	0,79	0,73
	3	0,88	0,84	0,77	0,69	0,62	0,91	0,85	0,78	0,69	0,62	0,95	0,86	0,79	0,69	0,62	0,96	0,87	0,79	0,69	0,62
	4	0,86	0,80	0,73	0,65	0,58	0,89	0,81	0,74	0,65	0,58	0,90	0,82	0,74	0,65	0,58	0,91	0,82	0,75	0,65	0,58
	5	0,84	0,76	0,70	0,61	0,55	0,83	0,77	0,70	0,61	0,55	0,87	0,78	0,71	0,62	0,55	0,87	0,79	0,71	0,62	0,55
	6	0,82	0,74	0,68	0,59	0,53	0,83	0,75	0,68	0,60	0,53	0,84	0,76	0,69	0,60	0,53	0,85	0,76	0,69	0,60	0,53
	8	0,79	0,71	0,65	0,57	0,51	0,80	0,72	0,63	0,57	0,51	0,81	0,73	0,65	0,57	0,51	0,81	0,73	0,66	0,57	0,53
	10	0,77	0,69	0,63	0,55	0,49	0,78	0,70	0,63	0,55	0,49	0,79	0,70	0,63	0,55	0,49	0,79	0,71	0,64	0,55	0,49

Tabelul II 6.10. Secțiunile minime admise pentru conductoare utilizate în instalațiile electrice din clădiri.

Nr. crt.	Destinația conductoarelor din circuitele fixe		Secțiunile minime (mm^2) Cupru	Aluminiu
1	Conductoare de fază			
1.1	Circuite pentru iluminat		1,5	-
1.2	Circuite pentru prize monofazice		2,5	-
1.3	Circuite de putere (forță)		1,5	4 (nota 4)
1.4.	Coloane monofazate (individuale) din clădiri de locuit		6	4
1.5	Coloane electrice colective		10	16
2	Conductorul neutru (N) (notele 1, 2, și 3)			
2.1	În circuite și coloane trifazate, cu armonici de ordinul 3 și multiplu de 3 sub 15 %, pentru secțiuni ale conductoarelor de fază de:			
		25	16	25
		35	16	25
		50	25	25
		70	35	35
		95	50	50
		120	70	70
		150	70	70
		185	95	95
		240	120	120
		300	150	150
		400	185	185
		>400	50 % din secțiunea conductorului de fază	

Nota:
1. În circuitele și coloanele monofazate conductorul neutru va avea aceeași secțiune cu conductorul de fază.
2. În circuitele și coloanele trifazate în care secțiunea conductorului de fază este mai mică sau egală cu 16 mm^2, secțiunea conductorului neutru va fi egală cu secțiunea conductorului de fază.

Tabelul II 6.11. Exemplu de alegere a secțiunii conductoarelor de fază și neutru în funcție de prezența armăturilor de ordinul 3 și multiplu de 3.

Factorii de corecție în funcție de curenții armonici în cablurile cu 4 sau 5 conductoare		
Armonica de ordin 3 în curentul de fază %	Factor de reducere (k5) Alegerea bazată pe curentul de fază	Alegerea bazată pe curentul în neutru
0-15	1,0	-
15-33	0,86	-
33-45	-	0,86
>45	-	1,0

Tabelul II 6.12. Alegerea tuburilor de protecție pentru instalații electrice în funcție de modul de instalare (caracteristici minime)

Starea			Caracteristicile în acord cu SR EN 61386 Rezistența la compresiune	Rezistența la impact	Rezistența la temperatura minimă	Rezistența la temperatura maximă
Instalare în exterior		Instalare aparentă	3	3	4	1
Instalare în interior		Instalare aparentă	2	2	2	1
	Îngropat	Instalare sub pardoseală (floor screed)	2	3	2	1
		beton				
		goluri (cavități în perete)				
		în zidărie				
		goluri în clădire				
		goluri în plafon	2	2	2	1
		Montare aeriană	4	3	3	1

Nota 1: Tuburile de protecție care sunt executate din materiale care propagă flacără trebuie să fie de culoare portocalie și sunt permise numai pentru instalare în beton.
Nota 2: Producătorul trebuie săenționeze compatibilitatea tuburilor de protecție în funcție de influențe externe și codul de clasificare.

Tabelul II 6.13. Alegerea diametrului interior al tubului de protecție pentru conductoare FY, H07V-U și H07V-R[1].

Nr. crt.	Conductor FY, H07V-U și H07V-R [5]					Tub de protecție [2]		
	Secțiunea unui conductor	Diametrul exterior d_e	Secțiune s_c	Conductoare în tub	Secțiune $S_c = nxs_c$	Secțiune $S_1 \geq 3S_c$	Diametrul interior[3] D_i	Diametrul exterior informativ[4] D_e
	[mm²]	[mm]	[mm²]		[mm²]	[mm²]	[mm]	[mm]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
				2	16	48	7,8 (8,1)	12
1	1,5	3,2 (3,3)[6]	8	3	24	72	9,6 (9,9)	12
				4	32	96	11 (11,4)	16
				5	40	120	12,3 (12,8)	16
				2	3,9	71,7	9,6 (9,8)	12
2	3,9 (4)	11,94	2	3	35,8	107,4	11,7 (12)	16
				4	47,7	143,1	13,5 (13,9)	20
				5	59,7	179,1	15,1 (15,5)	20
				2	30,4	91,2	10,8 (11,3)	16
3	4	4,4 (4,6)	15,2	3	45,6	136,8	13,2 (13,8)	16
				4	60,8	182,4	15,2 (15,9)	20
				5	76	22,8	17 (17,8)	25
				2	39,2	117,6	12,2 (12,7)	16
4	6	5 (5,2)	19,62	3	58,9	176,7	15 (15,6)	20
				4	78,5	235,5	17,3 (18)	25
				5	98,1	294,3	19,4 (20,1)	25
				2	64,3	192,9	15,7 (16,4)	20
5	10	6,4 (6,7)	32,15	3	96,4	289,2	19,2 (20,1)	25
				4	128,6	385,8	22,2 (23,2)	32
				5	160,8	482,4	24,8 (26)	32
				2	95,5	286,5	19,1	25
6	16	7,8	47,76	3	143,3	430	23,4	32
				4	191	573	27	32
				5	238,8	716,4	30,2	46
				2	147,7	443	23,7	32
7	25	9,7	73,86	3	221,6	664,8	29,1	40
				4	295,4	886,2	33,6	40
				5	369,3	1108	37,6	50
				2	186,5	559,5	26,7	32
8	35	10,9	93,27	3	279,8	839,4	32,7	40
				4	373,1	1119,3	37,8	50
				5	466,4	1399,2	42,2	50
				2	257,2	771,6	31,3	40
9	50	12,8	128,6	3	385,8	1157,4	38,4	50
				4	514,4	1543,2	44,3	50
				5	643	1929	49,6	63
				2	334,7	1004	35,8	50
10	70	14,6	167,33	3	502	1506	43,8	50
				4	669,3	2008	50,6	63
				5	836,7	2510	56,5	63
				2	459,1	1377,3	41,9	50
11	95	17,1	229,54	3	688,6	2065,8	51,3	63
				4	918,2	2754,6	59,2	63
				5	1147,7	3443	66,2	75

NOTA la Tabelul II 6.13.:

1. Alegerea diametrului interior D_i (mm) al tubului de protecție se face în funcție de secțiunea s_c (mm²) a conductorului și numărul de conductoare, din tub.
2. Mărimea diametrului interior D_i (mm) al tubului de protecție din coloana 8 este valabil în următoarele condiții:
   - $S_i \geq 3 \cdot S_c$ unde S_i (mm²) este secțiunea interioară a tubului și S_c (mm²) este secțiunea ocupată de conductoare;
   - pe trasee cu lungime de maximum 15 m, cu cel mult 3 curbe între două doze;
   - pentru curbe executate cu raza interioară egală cu minimum de 5-6 ori din diametrul exterior al tubului la montajul aparent și egală cu minimum de 10 ori diametrul exterior al tubului la montajul îngropat;
   - tragerea conductoarelor în tub se face folosind materiale pentru lubrifierea conductoarelor.
3. În cazul în care secțiunea s_c (mm²) diferă de cea din coloana 4, diametrul interior Di (mm) al tubului se recalculează cu formula $S_i \geq 3 \cdot S_c$.
   În standardul pe părți SR EN 61386 pentru tuburi de protecție nu sunt tipizate diametrele interioare și exterioare pentru tuburi folosite în instalații electrice, deoarece acestea depind de natura tubului și de producător.
   Sunt tipizate diametrele exterioare De (mm), în standardul SR CEI 60423 astfel: 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 75, dar nu sunt tipizate diametrele interioare.
4. În coloana 9, diametrul exterior D_e (mm) este dat informativ, urmând ca acesta să fie ales din catalogul producătorului în funcție de diametrul interior D_i (mm) din coloana 8.
5. Caracteristicile conductoarelor:
   FY - Conductor cupru unifilar clasa 1 sau multifilar clasa 2, rigid conform SR CEI 60228.
   Izolație PVC
   - Standard de produs: SRHD 21.3S3;
   - Tensiune nominală: U_0/U = 450/750 V;
   - Temperatura maximă admisă pe conductor în condiții normale de exploatare: 70 °C;
   - Conductor clasa 1 unifilar sau clasă 2 multifilar pentru secțiuni 1,5 - 10 mm²;
   - Conductor clasa 2 multifilar pentru secțiuni 16 - 400 mm²;
   - Izolație cu întârziere la propagarea flăcării conform SR EN 60332-1-2.

   HO7V-U - ca FY secțiuni 1,5 - 10 mm² cu conductor de cupru clasa 1 este similar cu FY calsa 1, 1,5 ÷ 10 mm².
   H07V-U-R - ca FY secțiuni 1,5 - 400 mm² cu conductor din cupru clasă 2 este similar cu FY clasă 2, 1,5 - 400 mm².
   Valorile din paranteze sunt pentru conductoare FY și H07V-R clasă 2.

Tabelul II 6.14. Alegerea sistemelor de pozare în funcție de tipurile conductoarelor sau cablurilor

Conductoare și cabluri		Mod de pozare: Fără fixare	Fixare directă	Tuburi	Jghiaburi (inclusiv plinte și profil la nivelul solului)	Tuburi profilate	Paturi de cabluri tip scară, table, console	Pe izolatoare	Pe fir purtător
Conductoare neizolate		-	-	-	-	-	-	+	-
Conductoare izolate		-	-	+	+*	+	-	+	-
Cabluri în manta (inclusiv cabluri armate și conductoare cu izolație minerală)	Multiconductor	+	+	+	+	+	+	0	+
	Cu un conductor	0	+	+	+	+	+	0	+

\+ Admis
\- Neadmis
0 Neaplicabil sau neutilizat în practică
* Conductoarele izolate sunt admise dacă capacul poate fi înlăturat numai cu ajutorul unei scule sau numai depunând un efort important cu mâna și jghiabul are un grad fi înlăturat numai cu ajutorul unei scule sau numai depunând un efort important cu mâna, deoarece jghiabul are un grad de protecție IP 4X sau IP XXD.

Tabelul II.6.15. Intreruptoarele tripolare cu pârghie până la 1kV

I_{ni} [A]	Curentul de rupere I_r [A] c.c. 220 V	c.c. 440 V	c.a. 380 V cos φ 1	c.a. 380 V cos φ 0,7	c.a. 500 V cos φ 1	c.a. 500 V cos φ 0,7	Grad de protecție	Masa [kg]	Gabarite [mm] L	l	h
25	19	12,5	20	12,5	-	-	IP201	0,5	155	130	87
63	45	30	50	30	-	-	IP201	1,3	155	155	95
100	75	50	80	50	-	-	IP201	2,3	175	175	105
200	-	-	160	100	80	60	IP001	6,5	415	178	240
350	-	-	280	175	140	105	IP001	7	415	178	240
630	-	-	480	300	240	180	IP001	19	415	178	240
1000	-	-	800	500	400	300	IP001	19	445	178	240

Tabelul II.6.16. Dimensiunile contactoarelor TCA

Contactor	Cod	Dimensiuni [mm]					x min	y min
		a	b	c	d	e		
TCA 6	4000/4001	35	45	47	72	79/98		
TCA 10	4005/4006					79/98	45	45
TCA 10*)	4007/4008	35	45	47	72	93/111		
TCA 16	4009				98			
TCA 32	4010	65	70	83	96	119	86	20
TCAC 32*)	4011					142		

*) Bobina este cu alimentare în curent continuu

Tabelul II.6.17. Caracteristicile contactoarelor TCA

Cod	I_{nc}[A]	Contacte auxiliare ND	Contacte auxiliare NÎ	Masă [kg]	Curentul maxim al siguranței fuzibile I_{FC}[A]
4000	6	1	-	0,32	
4001	6	2	2	0,37	
4005	10	1	-	0,32	25
4006	10	2	2	0,37	25
4007	10	1	-	0,53	25
4008	10	2	2	0,58	25
4009	16	2	2	0,37	35
4010	32	2	2	1,0	50
4011	32	2	2	2,1	50

Tensiunea nominală: 500 V c.a.
Tensiunea de utilizare: 220, 380, 500 V c.a.
Tensiunea de comandă pentru bobine:
tipul TCA: 24, 48, 110, 220, 380, 500 V c.a.
tipul TCAC: 24, 48, 60, 110, 220 V c.c.
Frecvență nominală: 50-60 Hz
Frecvența de conectare: 600 de conectări/h.
Rezistența de uzură mecanică: 10^7 conectări.
Execuție climatică: „Normal", „T3", „Naval".

Tabelul II.6.18. Principalele caracteristici ale releului termic tip TSA

Tipul	Codul	Curentul nominal I_{nRT}[A]	Curenții de serviciu I_s[A]	Dimensiuni de gabarit [mm]
TSA 10[4)]	3670	10	0,19;0,23;0,3;0,4;0,55;0,75;1;1,3;1,8;2,4;3,3;4,5;6;8;10.	56,5x74x54
TSA 16[1)4)]	3671	16	0,4;0,55;0,75;1;1,3;1,8;2,4;3,3;4,5;6;8;11;16	56,5x74x54
TSA 32[1)4)]	3672	32	0,4;0,55;0,75;1;1,3;1,8;2,4;3,3;4,5;6;8;11;15;20;25;32	69x76x54
TSA 63[1)2)]	3674	63	40;63	96x100x64,5
TSA 100[1)2)]	3647	100	80;100	96x100x64,5
TSAW 400[1)2)]	3678	400	80;100;125;160;200;250;315;400	190x130x155
TSAW 630[1)2)]	3677	630	315;400;500;630	190x130x155
TSAW - PG 630[1)2)3)]	3679	630	63;80;100;125;160;200;250;315;400;500;630	190x130x155

1) realizează protecția la mersul în 2 faze;
2) asigură compensarea dilatării datorită temperaturii mediului ambiant;
3) sunt utilizate pentru protecția motoarelor cu pornire grea ($t_p \geq 13$ s și $I_p/I_n > 6$);
4) pentru cazul în care temperatura mediului ambiant are valori în afara limitelor +10 ... +35 °C se aplică următorii factori de corecție valorii curentului de reglare I_r:

temperatura mediului ambiant [°C]	-20	-10	0	+10	+35	+40	+45	+50
factorul de corecție (-)	0,87	0,9	0,93	0,96	1,07	1,1	1,13	1,15

Tabelul II.6.19. Valorile $(I_F)_{RT}$ în funcție de I_s, la releele termice.

I_s [A]	0,19	0,23	0,3	0,4	0,55	0,75	1	1,3	1,8
$(I_F)_{RT}$ [A]	2	2	2	2	2	4	4	6	6
I_s [A]	2,4	3,3	4,5	6	8	10/11	15/16	20	25
$(I_F)_{RT}$ [A]	10	16	20	20	25	35	50	63	80
I_s [A]	32	40	63	80	100	160	200	250	315
$(I_F)_{RT}$ [A]	100	125	160	160	160	225	315	400	630

Tabelul II.6.20. Valorile $(I_F)c$, în funcție de I_{nc} la contactoare

I_{nc} [A]	6	10	16	25	40	63	100	160	200
(I_F) [A]	20	35	35	63	100	160	300	400	630

Tabelul II.6.21. Caracteristicile reductoarelor de curent (ELECTROPUTERE - Craiova)

T_t	I_{np} [A]	I_{ns} [A]	C_p [%]	P_a [VA]	C_t [kA]
CIRS*) - 0,5 kW	5				0,3
CIS - 0,5 kW	10				0,6
	15				0,9
	20				1,2
	30				1,8
	40				2,4
	50				3,0
	75	5	0,5	10	4,5
	100				6,0
	125				7,5
	150				9
	200				12
	250				15
	350				18
CIT*) - 0,5 kW	100				6
CIRT - 0,5 kW	125				7,5
	150				9
	200		1	5	12
	250				15
	350				18
	400	5			24
	500			10	30
	600		0,5		36
	750				45
	1000			15	60
	1250				75
	1500				90
	2000			30	120
	2500				150
	3000				180

Observații:
T_t=Tipul transformatorului; C_p=Clasa de precizie; P_a=Puterea absorbită de secundar; C_t=Curentul termic I_∞ pt. t_t = 1 s
*) *C* - transformator de curent; *I* - montat în interior; *S* - tip suport; *T* - tip trecere; *R* - izolație cu rășină

Tabelul II.6.22. Contoarele de energie activă (A) și reactivă (R) de fabricație indigenă (monofazate - M și bifazată - T)

Tipul	Tensiunea nominală U_n [V]	Curentul de bază I_b[A] Curentul maxim I_m[A]	Supra sarcina admisibilă [%]	Clasa de precizie	Consumul pe circ. de tensiune [W] circ. de curent [VA]	Gabaritul [mm]
	Contoare	monofazate	de energie	activă		
1 CM 4A	110; 220	2,5; 5; 10/-	200			123x211x116
3 CM 4	220; 230; 240	25/50	400			123x211x116
5 CM 4	127; 220	2,5; 5; 10; 15; 20; 25/50	200			123x211x116
6 CM 4	110;120	2,5 + 25/100	300	2	8/2,5	143x195x128
7 CM 4	125; 127	2,5 + 25/50	400			123x211x116
10 CM 4	125; 127	15; 20/-	300			123x211x116
1 CM 5	220; 230; 240	2,5 + 25/50	500			123x211x116
	Contoare	trifazate	de energie	activă	(A) și	reactivă (R)
T-2CA32	3x100*/3x38	5+20/1;5	125	2	6/2,5	
T-2CA32P	3x100*	1;5	300	1	4,5/4	
T-2CR 32	3x100*/380	5+/380	200	2	6/5	
T-2CR32P	3x100*	1;5	400	1	4,5/4	183x326x142
T-2CA43	3x220/380	5+50/1;5	125	2	6/2,5	
T-2CA43P	3x220/380	5	200+400	1	6/5	
T-2CR43	3x380	5+30/1;5	200+400	2	6/4	

*) Conectarea se face prin intermediul unor transformatoare de tensiune, cu tensiunea la bornele secundarului de 100 V.

II. Instalații electrice

Capitolul 7

Instalații pentru protecția omului împotriva tensiunilor accidentale de atingere

7.1. Probleme generale

Atunci când între două puncte ale corpului există o diferență de potențial, prin corp va trece un curent electric. Corpul omenesc se comportă ca o impedanță (fig. II.7.1) a cărei valoare este variabilă, pentru aceeași persoană, în funcție de:

- poziția celor două puncte de pe suprafața corpului între care există diferența de potențial, deci de traseul curentului electric prin corp;
- de starea de sănătate a acestuia; un organism bolnav are o impedanță mai mică la trecerea curentului;
- de umiditatea pielii corpului. Cu cât pielea este mai uscată cu atât Zt este mai mare. În caz contrar, valoarea Z_t scade foarte mult. În fig. II.7.2 se indică variația, în procente, (după norma CEI 479-1) a impedanței corpului, în funcție de traseul curentului electric, în raport cu impedanța corpului pe traseul „mână-mână".

Cifrele fără paranteze corespund traseului curentului de la mână, la partea considerată a corpului.

Cifrele în paranteze corespund traseului dintre ambele mâini și partea corespunzătoare a corpului.

De exemplu: impedanța dintre o mână și laba piciorului este 100 %, iar impedanța dintre ambele mâini și laba piciorului este 75 % din impedanța dintre cele două mâini. Totodată, impedanța totală a corpului uman este mult influențată și de tensiunea de contact așa cum se vede în fig. II.7.3. Cele trei curbe corespund procentelor de 5, 50 și, respectiv, 95 % din numărul total al subiecților pentru care nu se depășește valoarea impedanței din grafic.

Corpul omului poate ajunge sub tensiune prin atingerea unor părți ale instalației electrice aflate sub tensiune.

Atingerile pot fi:

- *directe*, când omul vine în contact cu părți din instalația electrică care, în regimul normal de funcționare, se află sub tensiune;
- *indirecte*, când omul vine în contact cu părți sau piese ale unor echipamente sau instalații care în mod normal nu se află sub tensiune, dar care au ajuns sub tensiune în urma unui defect sau a altor cauze accidentale. Exemple de atingeri indirecte ar fi: atingerea carcaselor metalice ale electromotoarelor, cutiilor metalice ale tablourilor electrice, pupitrelor sau panourilor electrice, conducte de apă etc. care, în mod accidental, ar putea ajunge sub tensiune.

Tensiunea la care este supus omul în cazul unor atingeri indirecte se numește *de atingere.* În caz particular dacă aceasta este aplicată tălpilor omului (aflat în apropierea unei prize de pământ sau unui conductor al unei linii aeriene căzute la pământ) aceasta se numește *tensiune de pas.*

7.2. Efectele curentului electric asupra corpului uman

Cele mai importante dintre efectele pe care le poate produce curentul electric la trecerea lui prin corpul uman, atunci când se depășește o anumită valoare a curentului, sunt:

- *electrotraumatisme* ce constau din arsuri sau metalizări ale epidermei, prin pătrunderea stropilor de metal topit sub acțiunea arcului electric; arsurile pot fi superficiale în locurile unde curentul electric intră și iese din corp, dar pot fi și intense, atunci când ating organele interne ale corpului. Acestea din urmă pot provoca chiar încetarea din viață.
- *electroșocurile* (electrocutările) ce se produc prin acțiunea curentului asupra sistemului nervos și pot avea diferite aspecte, în funcție de intensitatea curentului, traseul prin corp și durata acestuia.

Electroșocurile constau în:

- zguduiri sau contracții;
- pierderea temporară a auzului sau vocii;
- paralizia temporară a centrilor nervoși respiratori (oprirea respirației);
- paralizia temporară a inimii și fibrilația (contracția neregulată a fibrelor musculare);

Prin acordarea unui ajutor adecvat:

- respirație artificială;
- masaj cardiac,

victima poate fi reanimată, adesea, după un timp îndelungat de la producerea morții aparente.

Efectele cele mai periculoase le dă curentul electric de frecvență industrială (40...60 Hz) la care se produc convulsii ce fac ca omul să nu se poată elibera de sub acțiunea curentului. La frecvențe foarte înalte (peste 400 Hz) nu se mai produc electrocutări, iar electrotraumatismele sunt dependente de valoarea curentului. Limita maximă a curenților nepericuloși care pot trece

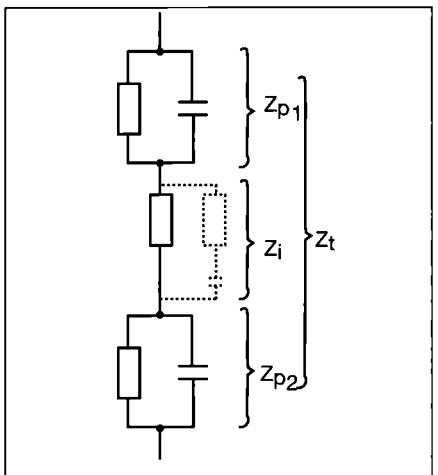


Fig. II.7.1 Impedanța corpului uman: Z_{p1}, Z_{p2} - a pielii; Z_i - internă; Z_t - totală.

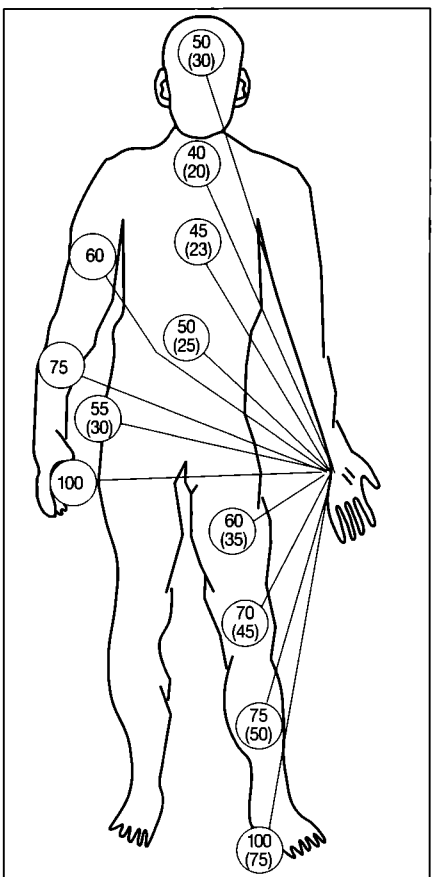


Fig. II.7.2 Impedanța corpului în funcție de traseul curentului.

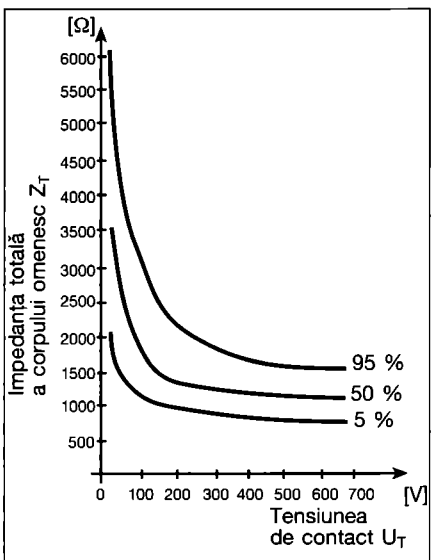


Fig. II.7.3. Valorile statistice ale impedanței totale a corpului omenesc, valabile pentru subiecții vii, pe traseul mână-mână, în funcție de tensiunea de contact.

prin corpul omului este de 50 mA, în curent continuu, și 10 mA, în curent alternativ de 50 Hz.

Efectele curentului electric depind de mai mulți factori ca și de simultaneitatea realizării lor:

- timpul cât trece curentul electric prin organism. În fig. II.7.4 se indică probabilitatea ca inima să intre în fibrilație în funcție de mărimea curentului și durata trecerii acestuia prin corp.

Curba C1 indică condițiile în care, la trecerea curentului, inima nu intră în fibrilație.

Condițiile corespunzătoare curbei C2 indică probabilitatea de 5 % ca inima să intre în fibrilație, iar curba C3, condițiile pentru o probabilitate de 50 %.

De exemplu, un curent alternativ de peste 50 mA dacă trece prin organele vitale (inima) un timp mai mare de 0,1...0,2 s poate fi mortal;

- impedanța totală a corpului uman. Aceasta este compusă din rezistența la intrare și ieșire din corp și rezistența organismului (fig. II.7.1). Primele două sunt mult influențate de echiamentul omului în momentul punerii sub tensiune. Cu cât este mai bine izolat cu atât efectele curentului electric vor fi mai reduse sau chiar nule. Impedanța organismului este formată, în cea mai mare parte, din impedanța pielii ce are valori de 40...100 kΩ. Dar conductivitatea epidermei poate crește mult datorită umidității de la suprafața acesteia - datorită transpirației sau umidității din atmosferă, stării febrile a organismului etc. Astfel impedanța organismului poate scădea la 600...1000 Ω. La străpungerea pielii când tensiunea depășește 60...100 V) impedanța organismului scade și mai mult ajungând la 200 Ω. Rezultă că în situațiile defavorabile (încăperi cu pardoseală bună conducătoare, umiditate mare în aer, aer cu praf conducător etc.) se pot produce accidente grave chiar la tensiuni de valoare mică (zeci de volți).

- traseul curentului prin corpul omului (fig. II.7.2);

- factorii de natură personală, cum ar fi starea fizică a omului, gradul său de atenție în momentul punerii sub tensiune etc.

7.3. Cazuri de electrocutare

Rețelele electrice trifazate de joasă tensiune pot fi:

- legate la pământ (fig. II.7.5) sau
- izolate față de pământ (fig. II.7.6).

Rețelele legate la pământ (fig. II.7.5) sunt utilizate, practic, în exclusivitate, în instalațiile de joasă tensiune. După cum se va vedea, aceste rețele sunt deosebit de periculoase din punctul de vedere al electrocutării omului. Totuși sunt foarte utilizate deoarece neutrul rețelei legat la pământ oferă tensiune constantă între fazele rețelei și neutru, indiferent de natura sarcinii - echilibrată sau dezechilibrată.

Rețelele izolate față de pământ (fig. II.7.6) sunt utilizate rar, atunci când este alimentat un receptor de putere mare sau un grup redus de receptoare cu sarcinile identice pe faze. Indiferent de modul de execuție a rețelelor - aerian, subteran sau conducte montate în tuburi de protecție, între fiecare linie electrică și pământ, există o impedanță ce poate fi mai mare sau mai mică, în funcție de caracteristicile straturilor de izolație dintre linie și pământ (fig. II.7.6). Astfel, nici rețelele izolate față de pământ nu sunt complet izolate față de acesta. Impedanța dintre fiecare linie și sol este uniform distribuită în lungul rețelei. Pentru ușurința explicațiilor acestea se vor considera concentrate (fig. II.7.6).

• Cazuri de electrocutare prin atingere directă

Atingerea simultană a unei linii electrice și a pământului sau a două dintre liniile rețelei (fig. II 7.7) provoacă trecerea unui curent electric prin om.

Indiferent de tipul rețelei, dacă omul intră în contact cu una din fazele acesteia și se află în legătură directă cu pământul (fig. II.7.7 a și b), prin corpul acestuia va trece un curent electric a cărui valoare depinde de impedanța circuitului ce se formează. Deoarece rezistențele de izolație Ziz (fig. II.7.7b) au, în general, valori mari, curentul prin om, în cazul atingerii unei faze a unei rețele izolate față de pământ, va fi mai mic față de curentul ce trece prin om la atingerea unei faze dintr-o rețea legată la pământ (fig. II.7.7a). Din punct de vedere al pericolului de electrocutare rezultă că rețeaua legată la pământ este mult mai periculoasă.

În cazul atingerii simultane a două

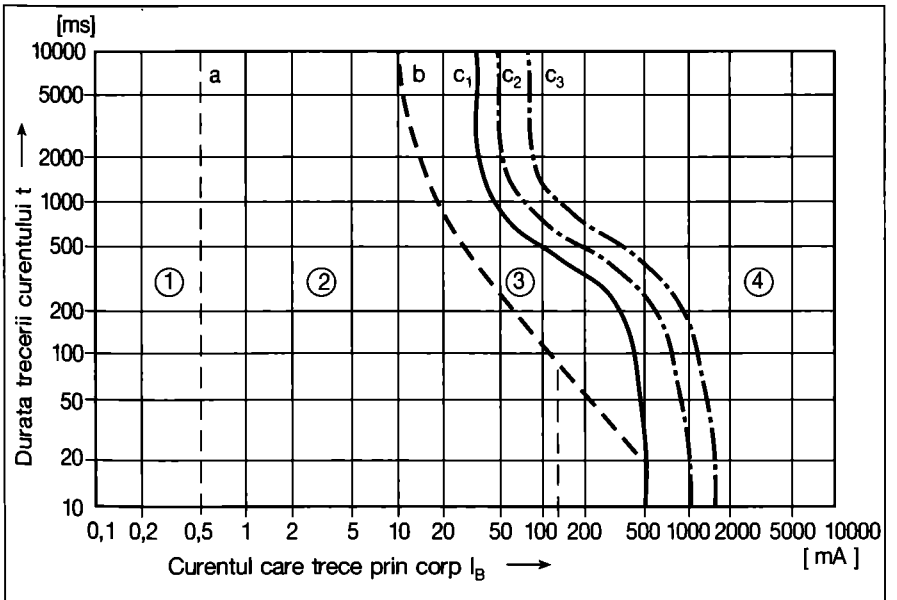


Fig. II.7.4. Zonele ce delimitează efectele patofiziologice la trecerea curentului prin om (după norma CIE 479-1):
zona 1 (în stânga dreptei a): în mod normal, nu se produce nici o reacție; zona 2 (între curbele a și b): în mod normal, nu se produce nici un efect fiziologic periculos; zona 3 (între curbele b și c_1): în mod normal, nici un pericol organic; efectele (contracțiile musculare) sunt reversibile ele fiind influențate de intensitatea curentului și durata de trecere; zona 4 (la dreapta curbei c_1): fibrilația inimii, este, probabil, în funcție de intensitatea curentului și durata lui de trecere; de asemenea, este de prevăzut să apară și efecte fiziopatologice grave.

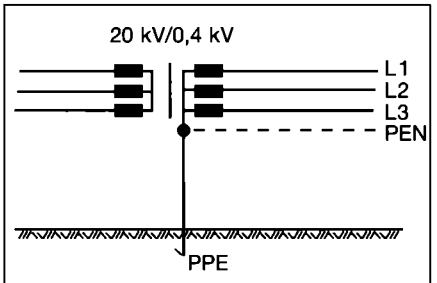


Fig. II.7.5. Rețea legată la pământ:
(PPE - priza de pământ de exploatare).

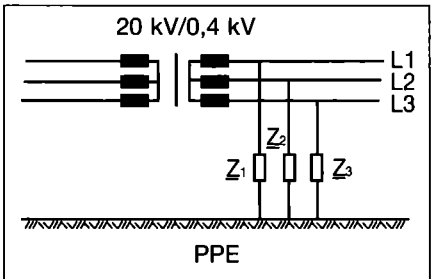


Fig. II.7.6. Rețea izolată față de pământ.

dintre fazele rețelei (fig. II.7.7c și d), indiferent de tipul rețelei, curentul prin om este același. Rețelele, în acest caz, sunt la fel de periculoase pentru om.

Pentru a evita asemenea cazuri de electrocutare, omul trebuie să utilizeze echipamentul special de protecție individuală. Acesta este format din mănuși, cizme și șorț electroizolante care, în prealabil, au fost verificate că au rezistența de izolație corespunzătoare. Utilizând acest echipament, omul va putea interveni în instalațiile electrice numai sub supravegherea unui partener de lucru care îi va dirija acțiunile din aproape în aproape.

• Cazuri de electrocutare prin atingere indirectă

Acestea se produc atunci când omul atinge părți metalice ale unor utilaje, echipamente sau corpuri care au ajuns sub tensiune, în mod accidental. De exemplu, stelajul metalic al unui tablou electric, carcasa unui motor electric, carcasa unei mașini de spălat rufe etc. care, în mod normal, nu se află sub tensiune. Din cauza unui defect, acestea pot ajunge sub tensiune și, la atingerea lor, de către un om care are picioarele pe un suport bun conducător de electricitate și în contact cu pământul îl vor pune pe acesta sub tensiune.

Defectele cele mai frecvente ce conduc la astfel de situații sunt:

- desprinderea uneia sau mai multor faze din circuitele electrice, datorită unor solicitări mecanice dinamice sau accidentale;
- defecte de izolație ale conductoarelor de fază.

Acestea la rândul lor se pot datora: îmbătrânirii izolației (fie datorită îmbătrânirii naturale, fie datorită suprasarcinilor repetate la care a fost supus conductorul în timp, distrugerii izolației în unul sau mai multe locuri (datorită unor forțe mecanice: loviri, tasări ale construcției etc. sau acțiunii unor rozătoare) sau chiar unor defecte de execuție a izolației ce nu au fost observate la montare.

În fig. II.7.8 sunt prezentate cazurile frecvente de electrocutare prin atingere indirectă în rețelele legate la pământ.

În cazurile prezentate, carcasele metalice ale celor două receptoare au ajuns sub tensiune datorită contactului electric cu una din fazele rețelei. Atunci când omul atinge o astfel de carcasă și, în același timp, o altă parte a corpului (cel mai adesea, picioarele) se află în contact cu solul, prin corpul omului va trece un curent. Traseul acestuia (fig. II.7.8) cuprinde: transformatorul de alimentare a rețelei de joasă tensiune, faza defectă, carcasa receptorului la care s-a produs defectul, omul, elementele de construcție bune conducătoare de electricitate, solul, priza de pământ de exploatare a transformatorului, transformatorul (bobinajul fazei pe care s-a produs defectul). Cu cât impedanța acestui traseu este mai mică cu atât curentul care trece prin om va fi mai mare și efectele lui mai grave.

Dacă rețelele din fig. II.7.8 ar fi izolate față de pământ (ca în fig. II.7.7 b și d) circuitul electric s-ar închide prin impedanțele de izolație ale fazelor nedefecte.

Rezultă că, indiferent de tipul rețelei, pericolul de electrocutare, la atingerea unor părți metalice ajunse accidental sub tensiune, există.

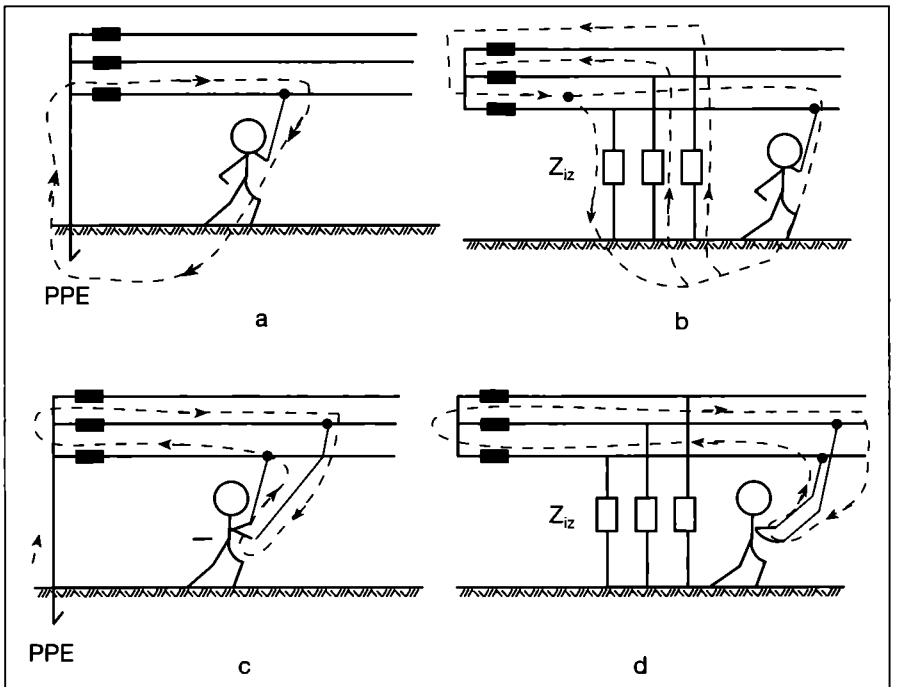


Fig. II.7.7. Cazuri de electrocutare prin atingere directă:
a - unei faze dintr-o rețea legată la pământ; b - unei faze dintr-o rețea izolată față de pământ; c - a două faze ale unei rețele legate la pământ; d - a două faze ale unei rețele izolate față de pământ.

7.4. Clasificarea încăperilor și receptoarelor din punct de vedere al pericolului de electrocutare

Curentul care trece prin corpul omului depinde de impedanța circuitului ce se stabilește în cazul unei atingeri indirecte a rețelei. Impedanța circuitului, la rândul său, este dependentă atât de contactul dintre corpul omului și receptorul defect cât și de contactul dintre corpul omului și părțile bune conducătoare ale construcției din încăperea în care acesta se află.

În funcție de pericolul de electrocutare, încăperile se clasifică în următoarele categorii:

- *puțin periculoase* - acestea sunt încăperi uscate și încălzite, cu pardoseala izolantă și fără construcții metalice în apropierea instalațiilor electrice. Exemple: camerele de zi și dormitoarele din locuințe, birourile din clădirile administrative etc.;
- *periculoase* - acestea sunt încăperile care îndeplinesc cel puțin una din următoarele condiții:
  - temperatura este în permanență între 20 și 30 °C;
  - în încăpere există permanent praf bun conducător de electricitate;
  - în încăpere se află construcții metalice în apropierea instalațiilor electrice fără ecrane protectoare;
  - pardoseala este bună conducătoare de electricitate (pământ, beton, cărămidă, metal, lemn umezit continuu din cauza procesului de producție);
  - umiditatea este cuprinsă între 75 și 97%;
  - în încăpere se manevrează cu gaze sau lichide ce scad rezistența electrică a corpului uman;
  - suprafața încăperii este acoperită, în proporție de sub 60%, cu mase metalice ce pot ajunge sub tensiune;

  Exemple: laboratoare, hale industriale, vestiare, holuri etc.
- *foarte periculoase* - acestea sunt cele în care se realizează cel puțin una din următoarele condiții:
  - temperatura este în permanență peste 30°C;
  - umiditatea relativă a aerului este, în mod obișnuit, peste 97% (există permanent condensat pe suprafețele încăperii);

- în încăpere există permanent vapori sau gaze corosive;
- suprafața încăperii este acoperită în proporție de peste 60%, cu mase metalice ce pot ajunge sub tensiune.

Exemple: băile publice, spații industriale etc. De asemenea, în această categorie intră și rezervoarele metalice, cazanele de abur etc. în care, în timpul execuției, reviziei sau reparațiilor, pot lucra oameni.

Echipamentele electrice, la rândul lor, se clasifică, din punctul de vedere al electrocutării în:
- *fixe* - au o poziție fixă, funcționează permanent în același loc și sunt amplasate în și pe elemente de construcție;
- *mobile* - au o poziție fixă temporar, iar când sunt mutate dintr-un loc în altul, sunt scoase de sub tensiune;
- *portative* - sunt construite special astfel încât în timpul funcționării se află în contact cu corpul uman.

Instalațiile de protecție a omului împotriva tensiunilor de atingere trebuie să asigure tensiuni de atingere sau de pas ce să nu-l pună în pericol, în caz de defect. Aceste tensiuni maxime, admisibile, depind de categoria încăperii în care se află omul și de tipul echipamentului electric cu care lucrează.

7.5. Metode de protecție

7.5.1. Metode de protecție împotriva atingerilor directe (metode de bază)

Acestea constau în:
- măsuri de protecție completă prin:
  - izolarea părților aflate sub tensiune; de menționat că vopselele, lacurile, și varnish-urile nu asigură o protecție adecvată;
  - folosirea de bariere sau carcase cu un grad de protecție egal cu cel puțin IP2X; metoda este cel mai mult utilizată, echipamentele electrice fiind montate în carcase (cutii), panouri de comandă și tablouri de distribuție; este obligatoriu ca un element de deschidere a incintei (ușă, panou, sertar etc.) să poată fi deschis, detașat sau extras numai:
    * prin utilizarea unei chei sau scule special destinate acestui scop sau
    * după completa izolare a părților aflate sub tensiune din incintă;
  - utilizarea tensiunilor foarte joase; metoda este utilizată pentru alimentarea unor receptoare de mică putere (portative) și aflate în încăperi foarte periculoase, din punct de vedere al pericolului de electrocutare.
- măsuri de protecție parțială prin:
  - protecția prin intermediul unor obstacole sau prin plasarea părților aflate sub tensiune în afara zonelor de accesibilitate normală; în acest fel accesul la părțile aflate sub tensiune va fi permis numai personalului autorizat care va dispune de echipamentul individual de protecție (mănuși, cizme și șorț electroizolante și ochelari de protecție).

Metodele de mai sus au un caracter preventiv. Efectul de protecție poate fi mult diminuat datorită uzurii normale a izolațiilor, prezenței apei sau condensatului, impedanței utilizatorilor etc.
- măsuri adiționale de protecție prin:
  - utilizarea de dispozitive foarte sensibile și cu declanșare rapidă, bazate pe detectarea curentului rezidual către sol - indiferent dacă acesta trece sau nu prin corpul unui om.

7.5.2. Metode de protecție împotriva atingerilor indirecte

Acestea pot fi de bază și suplimentare. Metodele din prima grupă pot să realizeze protecția omului în caz de defect. Cele din a doua grupă vor fi utilizate în paralel cu una din metodele principale pentru o siguranță mai mare. Trebuie arătat că, de foarte multe ori, atunci când pericolul de electrocutare este foarte mare, ca metodă suplimentară, se folosește tot una din metodele de bază (alta decât cea utilizată ca metodă principală).

Ca metodă principală se utilizează:
- legarea la pământ;
- legarea la nulul de protecție;
- utilizarea tensiunilor reduse;
- separarea de protecție.

Ca metode suplimentare cele mai utilizate sunt:
- izolarea suplimentară de protecție;
- egalizarea și dirijarea potențialelor;
- deconectarea automată de protecție:
  - la apariția unei tensiuni de atingere periculoase;
  - la apariția unui curent de defect periculos pentru om.

În toate cazurile se recomandă utilizarea echipamentului individual de protecție: mănuși, cizme și șorț electroizolante și ochelari de protecție împotriva arcului electric.

Metodele menționate asigură protecția omului împotriva tensiunilor accidentale de atingere prin una sau mai multe din următoarele măsuri:
- micșorarea tensiunii de atingere până la valori ce nu pun în pericol omul (sub 50 V în c.a. și 120 V în c.c.);
- micșorarea duratei de trecere a curentului prin om prin scoaterea de sub tensiune a sectorului defect;
- mărirea impedanței echivalente a corpului omului sau a circuitului defect astfel încât curentul prin om să fie nepericulos.

Metoda de legare la pământ este o metodă proprie rețelelor izolate față de pământ. Principiul metodei este ilustrat în fig. II.7.9.

Rețeaua izolată față de pământ alimentează un motor trifazat a cărei fază

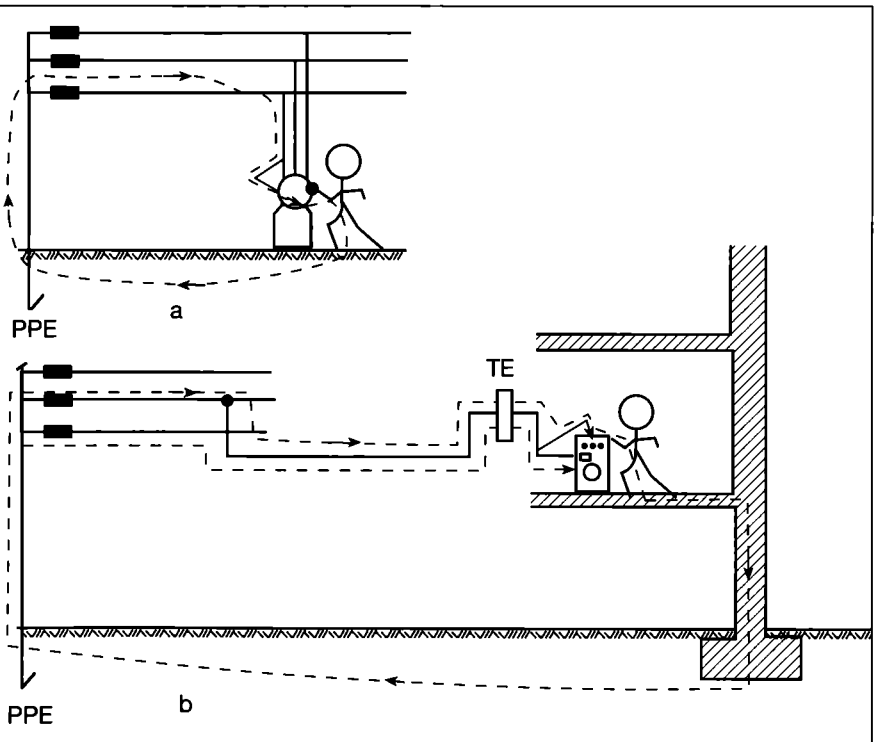


Fig. II.7.8. Cazuri de electrocutare prin atingerea indirectă a carcasei:
a - unui motor; b - unei mașini de spălat rufe.

L_1 prezintă un defect de izolație astfel încât carcasa acestuia este pusă sub tensiune. Rețeaua are, din punct de vedere electrotehnic, între linii și sol, câte o impedanță cu valori ce depind de izolația reală a liniilor. Pentru simplificare, impedanțele de izolație au fost înlocuite cu rezistențe de izolație, R_{iz}.

Metoda de legare la pământ presupune legarea la pământ a părților metalice ce, în mod accidental, ar putea ajunge sub tensiune (cum este carcasa și stelajul motorului). Legătura este materializată prin rezistența R_p (fig. II.7.9) ce corespunde unei prize de pământ și elementelor metalice ce se leagă la aceasta.

Astfel de rețele sunt denumite *IT*:

I - indică faptul că rețeaua este izolată față de pământ printr-o impedanță de mărime mare;

T - indică faptul că masele metalice ce ar putea ajunge accidental sub tensiune sunt legate la pământ) și se reprezintă ca în fig. II.7.10.

Curentul de defect I_{L1} are sensul indicat în fig. II.7.9, iar schema electrică corespunzătoare reprezentată în fig. II.7.11.

Este important de determinat curentul prin om I_h, pentru a aprecia factorii de care acesta depinde și modalitățile în care poate fi adus la valori nepericuloase pentru om.

Aplicând legile lui Kirchhoff rezultă, în complex:

$$\underline{U}_{10} - \underline{U}_{20} = \underline{I}_{L1} R_e - I_{L2} R_{iz}$$
$$\underline{U}_{10} - \underline{U}_{30} = \underline{I}_{L1} R_e - I_{L3} R_e \qquad (7.5.1)$$

unde:

U_{10}, U_{20}, U_{30} - sunt tensiunile de faze, iar R_e rezistența echivalentă pe faza L_1:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_{iz}} + \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_h} \qquad (7.5.2)$$

Știind că:

$$\underline{U}_{10} + \underline{U}_{20} + \underline{U}_{30} = 0$$
$$I_{L1} R_e = I_h R_h \qquad (7.5.3)$$

rezultă:

$$I_h = \frac{\sqrt{3}U}{3R_h + R_{iz} + \frac{R_h \cdot R_{iz}}{R_p}} \qquad (7.5.4)$$

unde:

U - este tensiunea între faze (380 sau 400 V).

Relația 7.5.4 indică dependența valorii curentului prin corpul omului în funcție de valoarea rezistenței prizei de pământ, R_p.

Pentru $R_p = \infty\ \Omega$, ceea ce înseamnă lipsa prizei de pământ, curentul prin om are expresia:

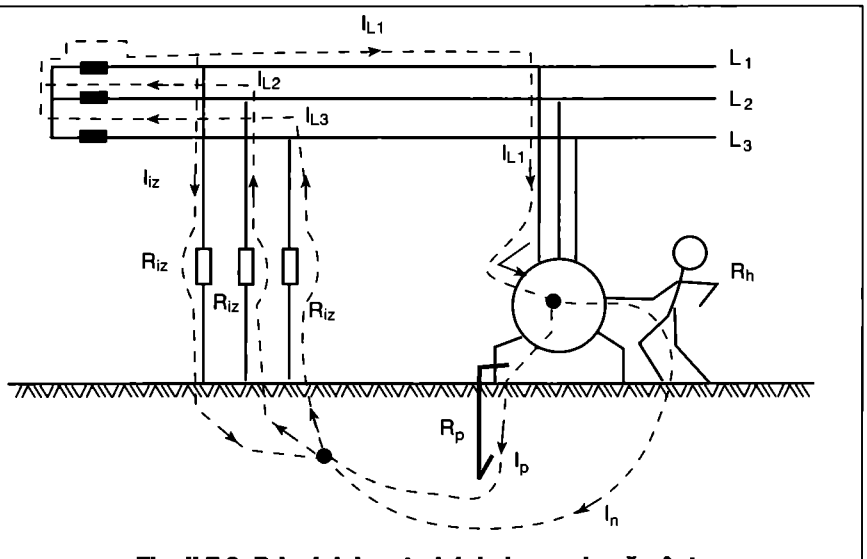


Fig. II.7.9. Principiul metodei de legare la pământ.

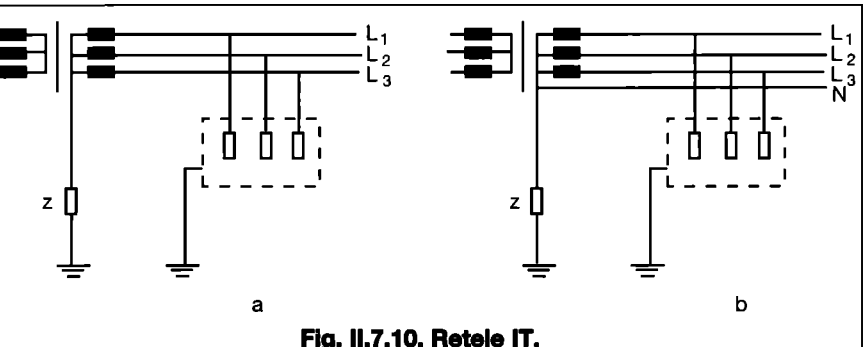


Fig. II.7.10. Rețele IT.
a - fără neutru; b - cu neutru.

$$I_h = \frac{\sqrt{3}U}{3R_h + R_{iz}} \qquad (7.5.5)$$

Admițând că U = 380 V și R_h = 1000 Ω, rezistența de izolație trebuie să fie R_{iz} > 63 kΩ pentru ca prin om să treacă un curent mai mic de 10 mA. Rezistențe de izolație așa de mari se întâlnesc foarte rar în exploatare. Chiar dacă la darea în funcțiune R_{iz} are asemenea valori, în timp, valoarea ei scade foarte mult, până la valori curente de 10-20 kΩ. În aceste situații curentul prin om ar fi de 28-50 mA ceea ce ar duce la accidente deosebit de grave. Pentru o rezistență de legare la pământ ideală, R_p = 0 Ω curentul prin om ar fi I_h = 0 A. În acest fel omul ar fi protejat chiar și la pierderea rezistenței de izolație (ceea ce ar conduce la alte categorii de defecte în instalație).

Normele republicane impun pentru rezistența prizei de pământ o valoare maximă de 4 Ω. În acest fel prin om ar putea să treacă un curent periculos, peste 10 mA, numai dacă rezistența de izolație ajunge sub 250 Ω, ceea ce este puțin probabil să se întâmple în condițiile în care instalația electrică funcționează normal. Totuși, pentru siguranța exploatării instalațiilor electrice, acestea sunt prevăzute cu echipamente de măsură a rezistenței de izolație. În acest fel, la începutul unui ciclu (zi, schimb de lucru de exploatare) se verifică buna funcționare a instalației de protecție prin măsurarea rezistenței de izolație.

În practică, instalația de legare la pământ, dintr-o clădire, cuprinde:

- *priza de pământ,* ce poate fi naturală, atunci când este utilizată armătura metalică a fundației clădirii, artificială, atunci când rezistența prizei naturale are rezistența mai mare de 4 Ω;
- *rețeaua generală de legare la pământ,* formată dintr-un conductor metalic, amplasat în interiorul clădirii la care se leagă părțile metalice (ale receptoarelor) ce accidental ar putea ajunge sub tensiune;
- *legăturile* (cel puțin două) dintre priza de pământ și rețeaua generală de legare la pământ. Pe fiecare din aceste legături se montează piese de separație cu rolul de a izola priza de pământ de restul instalației, pentru a da posibilitatea măsurării rezistenței de dispersie a prizei;
- *ramificațiile* conducătoare ce asigură continuitatea electrică dintre rețeaua generală de legare la pământ și părțile metalice ce, accidental, ar putea ajunge sub tensiune.

În fig. II.7.12 se prezintă schema instalației de legare la pământ pentru două corpuri de clădire apropiate care au o singură priză de pământ.

Rețeaua generală de legare la pământ (RGLP) poate fi pe contur închis sau deschis. În acest ultim caz capetele se vor lega obligatoriu la priza de pământ (P.P) (sau la altă rețea generală de legare la pământ).

Conductoarele ce formează rețeaua generală de legare la pământ se mai numesc și conductoare principale de legare la pământ și au secțiunile minime de:
- 16 mm^2 din cupru masiv (grosimea minimă 2 mm) sau funie;
- 100 mm^2 din oțel (grosimea minimă 3 mm).

Legăturile la priza de pământ se execută cu conductoare din oțel cu secțiunea minimă de 100 mm^2, dar cu grosimea minimă de 4 mm.

Ramificațiile se execută pe traseul cel mai scurt dintre masa metalică a unui receptor legat la pământ și rețeaua generală de legare la pământ. Nu este permisă legarea în serie a maselor deoarece, în caz de întrerupere a legăturii, un număr mai mare de receptoare vor fi izolate față de pământ.

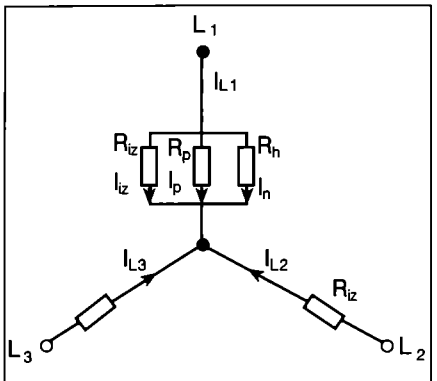


Fig. II.7.11. Schema electrică corespunzătoare circulației curentului de defect I_{L1} din fig. II.7.9.

Conductoarele ramificațiilor au secțiunea minimă de:
- 10 mm^2 dacă sunt din cupru;
- 25 mm^2 din aluminiu sau OL-AL;
- 50 mm^2 din oțel.

Legarea la pământ a carcaselor metalice supuse vibrațiilor se face cu conductoare flexibile - tip funie - ce vor avea o lungime de cel puțin 30 cm.

Piesele de separație reprezintă legăturile demontabile dintre rețeaua generală și priza de pământ. Acestea se pot monta:
- în interiorul clădirii;
- pe peretele exterior al clădirii:
  - aparent, la o distanță de sol de 3 m (pentru a nu fi ușor accesibile);
  - îngropat, într-o nișă special destinată, amplasată la mai mult de 0,6 m de sol și prevăzută cu ușă metalică cu cheie triunghiulară sau pătrată.

Piesa de separație constă într-o eclisă prevăzută cu 4 șuruburi de prindere (de cel puțin Φ 8).

Metoda de legare la conductorul de protecție este o metodă proprie rețelelor legate la pământ, de tipul TN în care neutrul rețelei este legat la pământ (fig. II.7.7 a și c) (la postul de transformare) și masele metalice ce, accidental, ar putea ajunge sub tensiune, sunt legate la acesta prin conductoare de protecție.

Principiul metodei este prezentat în fig. II.7.13.

Neutrul rețelei este legat la pământ printr-o priză de pământ de exploatare (PPE). Rețeaua cuprinde, în afara conductoarelor active (L_1, L_2, L_3), conductoarele legate la neutrul acesteia:
- conductorul de neutru (N - sau nul de

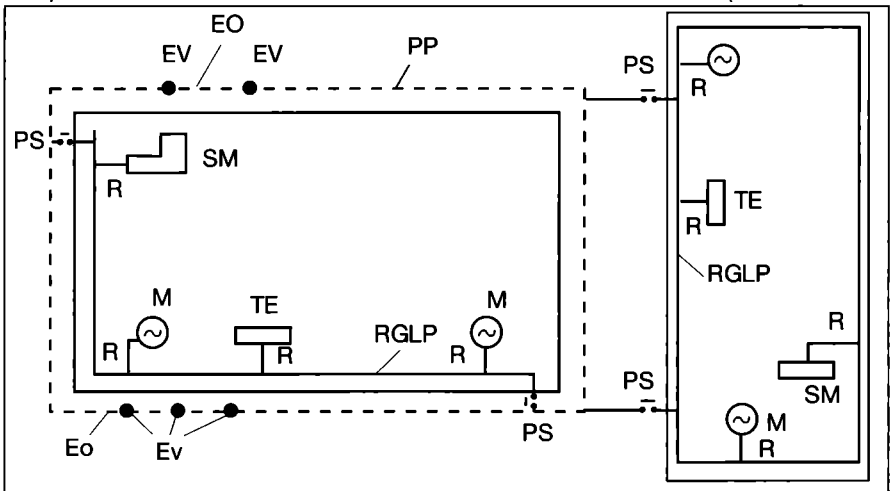


Fig. II.7.12. Instalația de legare la pământ:
R - ramificații; RGLP - rețeaua generală de legare la pământ; PP - priza de pământ; EV - electrozi verticali uniform distribuiți pe contur închis; EO - electrozi orizontali, de legare a electrozilor verticali între ei; PS - piese de separație; M, TE, SM - carcase metalice legate la pământ (ale unor motoare, tablouri electrice, stelaje metalice) ce ar putea ajunge sub tensiune.

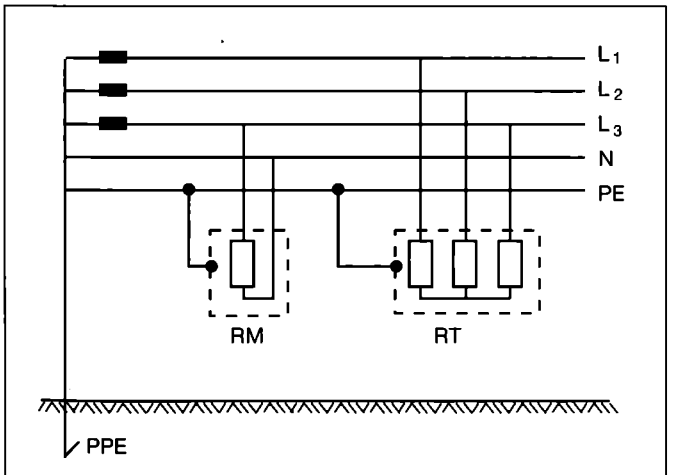


Fig. II.7.13. Principiul metodei de legare la conductorul de protecție:
RM - receptor monofazat; RT - receptor trifazat.

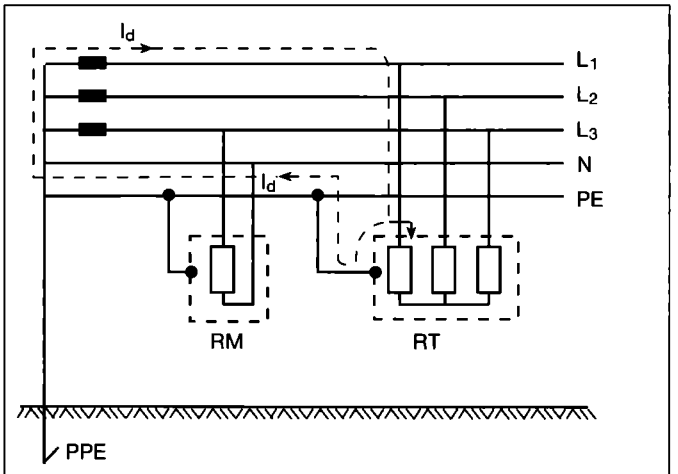


Fig. II.7.14. Traseul curentului de defect într-o rețea legată la pământ în care s-a utilizat metoda de legare la conductorul de protecție.

lucru) necesar racordării receptoarelor monofazate și
- conductorul de protecție (PE sau nulul de protecție) care se distribuie la masele metalice ce accidental ar putea ajunge sub tensiune.

În cazul în care, la unul din receptoare, are loc un defect ce ar putea pune sub tensiune masele metalice ale acestuia (cu care omul ar putea intra în contact în timpul exploatării), rezultă un curent pe traseul: faza defectă (L_1), masa metalică a receptorului, conductorul de protecție (PE), neutrul rețelei, faza defectă (L_1) (fig. II.7.14).

Acest curent de defect are valoarea:

$$I_d = \frac{U_f}{R_{L1} + R_C + R_{PE}} \qquad (7.5.6)$$

unde:

R_{L1}, R_{PE} - sunt rezistențele liniei (L_1) și a conductorului de protecție (PE) iar R_C rezistența de contact în locul defect.

Cum rezistențele R_{L1}, R_{PE} și R_C au valori foarte mici, curentul de defect I_d ajunge la valori mari, comparabile cu cele ale curentului de scurtcircuit. În acest fel echipamentul de protecție aflat pe linia defectă (siguranță fuzibilă, releu electromagnetic sau echipament diferențial) acționează și scoate de sub tensiune receptorul. Carcasa metalică a acestuia este scoasă de sub tensiune și omul nu se mai află în pericol. Dacă omul s-ar afla în contact cu carcasa metalică, chiar în momentul punerii acesteia sub tensiune, pericolul este redus deoarece aparatele de protecție acționează într-un timp de ordinul milisecundelor.

Metoda prezintă dezavantajul că în cazul întreruperii conductorului de protecție (fig. II.7.15) există pericolul ca omul să fie supus unui șoc electric în cazul în care, la unul din receptoare, masa sa metalică a fost pusă sub tensiune datorită unui defect. În figura II.7.15 conductorul de protecție (PE) este întrerupt în punctul A.

Deci toate receptoarele aflate între transformator și punctul A au conductorul de protecție continuu și legat la neutrul rețelei, ca în fig. II.7.14, astfel că, orice punere sub tensiune a uneia dintre mase, duce la scoaterea de sub tensiune a receptorului unde s-a produs defectul. Un defect la unul din receptoarele aflate în aval de punctul A, ce ar duce la punerea sub tensiune a părților metalice ale acestuia (de exemplu, receptorul R_2 din fig. II.7.15) are ca efect punerea sub tensiunea fazei defecte a conductorului de protecție PE, pe toată lungimea sa, ca și a părților metalice legate la acesta. Astfel, dacă un om se află în contact cu carcasa receptorului R_3 (la care nu există nici un defect) acesta va fi supus unui șoc electric datorită curentului ce se instalează pe traseul: fază defectă (L_1), carcasa metalică a receptorului R_2, conductorul de protecție PE , carcasa metalică a receptorului R_3, corpul omului, pământ, neutrul rețelei, faza defectă (L_1). Dacă rezistența traseului este sub 22 kΩ curentul care va trece prin om va fi mai mare de 10 mA și omul se află în pericol.

Pentru a reduce la minimum pericolul de punere sub tensiune, metoda de legare la conductorul de protecție este completată cu una sau mai multe metode cum ar fi: legarea la pământ și/sau deconectarea automată de protecție.

Rețelele legate la pământ sunt utilizate, aproape în exclusivitate, în alimentarea receptoarelor de joasă tensiune. În funcție de modul în care sunt distribuite conductorul neutru (N) și, respectiv, conductorul de protecție (PE) rețelele legate la pământ sunt de următoarele tipuri:
- TN-S, în care se folosesc conductoarele distincte pentru neutru (N) și pentru conductorul de protecție (PE) pentru întreaga rețea, așa cum se arată în fig. II.7.14.
- TN-C în care funcțiile celor două conductoare sunt îndeplinite de un singur conductor (PEN) pentru întreaga rețea, ca în fig. II.7.16.
- TN-C-S în care funcțiile celor două conductoare sunt îndeplinite de un singur conductor numai pe o porțiune a rețelei. O astfel de rețea se compune dintr-o rețea de tip TN-C și una TN-S (numai în această ordine) fig. II.7.17.
- TT în care neutrul rețelei este legat la pământ și părțile metalice (masele) ale receptoarelor ce, accidental, ar putea ajunge sub tensiune sunt, de asemenea, legate la pământ, independent, de neutrul rețelei, fig. II.7.18.

Este de precizat că, în acest ultim caz, curenții de defect, de valori mai mici, ca cele ale curenților de scurtcircuit, pot provoca apariția unei tensiuni de atingere periculoase pentru om (între carcasa receptorului defect și pământ). Se recomandă utilizarea în paralel cu legarea la conductorul de protecție și a altor metode, cum ar fi izolarea suplimentară de protecție și/sau deconectarea automată de protecție.

Metoda utilizării tensiunilor reduse constă în alimentarea receptoarelor la tensiuni sub valorile tensiunilor de atingere și pas, maxime admise. Acestea sunt în funcție de locul de utilizare, de categoria echipamentului (receptorului), felul curentului, periculozitatea mediului și timpul de deconectare a echipamentelor de protecție în caz de defect (conform I-7-2009).

Tensiunile reduse se pot obține cu transformatoare coborâtoare sau cu grupuri motor-generator. Circuitele de tensiune redusă vor avea trasee distincte de cele de tensiune normală. Prizele nu vor fi prevăzute cu contact de protecție, iar masele metalice ale receptoarelor alimentate din astfel de circuite nu este necesar a fi legate la pământ sau la un conductor de protecție.

Metoda separării de protecție constă în utilizarea unui transformator, de regulă, cu raportul de transformare 1:1, pentru alimentarea receptoarelor. În acest fel, receptoarele sunt alimentate dintr-o rețea izolată față de pământ, mai puțin periculoasă, decât dintr-o re-

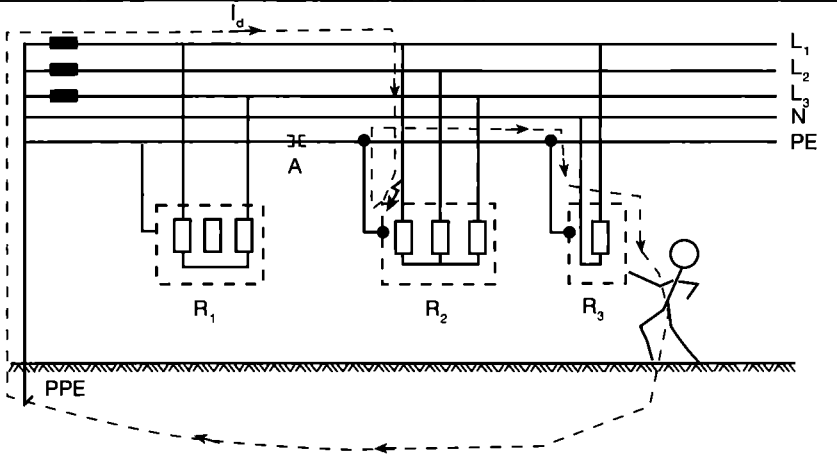


Fig. II.7.15. Evidențierea pericolului de șoc electric în cazul întreruperii conductorului de protecție.

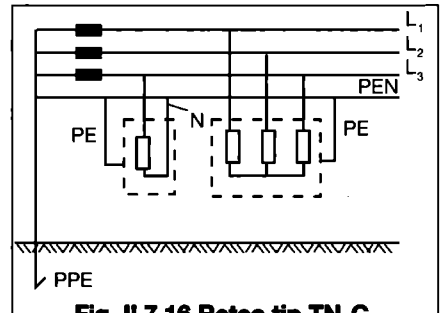


Fig. II.7.16 Rețea tip TN-C.

ţea legată la pământ (fig. II.7.19).

Metoda se foloseşte pentru alimentarea sculelor portabile de putere mare, când nu pot fi alimentate cu tensiuni reduse, sau a unor receptoare de putere mică, utilizate în medii foarte periculoase din punct de vedere al pericolului de şocuri electrice. În acest ultim caz, transformatorul este inclus în receptor - de exemplu, priza din camerele de baie pentru alimentarea maşinilor electrice de ras.

Transformatorul de separare va avea înfăşurările distincte şi prevăzute cu izolaţie întărită. Tensiunea primară nu poate depăşi 1000 V, iar cea secundară 500 V.

Circuitul separat (al secundarului) nu va avea nici un punct comun cu alt circuit şi nici un punct legat la pământ sau la alte mase.

Un circuit separat poate alimenta mai multe receptoare dacă:
- alimentarea se face în cablu;
- masele receptoarelor sunt legate printr-un conductor de egalizare a potenţialelor. Acesta nu se leagă la pământ sau alt conductor de protecţie sau masă a altor circuite. Conductorul de egalizare a potenţialelor este inclus în cablul de alimentare;
- prizele vor avea contact de protecţie legat la conductorul de egalizare a potenţialelor;
- pe circuit se va prevedea un dispozitiv de protecţie care să semnalizeze primul defect de izolaţie la masă şi care să deconecteze după maximum 5 s de la apariţia celui de al doilea defect de izolaţie la altă masă.

Metoda izolării suplimentare de protecţie presupune acoperirea cu o izolaţie suplimentară realizată ca un înveliş izolant pe toate părţile echipamentului. Acesta trebuie să ofere un grad de protecţie de cel puţin IP2X, să suporte toate solicitările mecanice, termice şi electrice din funcţionarea normală şi să nu fie traversată de elemente conductoare electric. Astfel de echipamente nu se leagă la pământ (marcajul de legare la pământ va fi anulat vizibil dacă există pe borne) şi nici la conductorul de protecţie.

Metoda este utilizată ca metodă suplimentară a unei metode de bază.

Metoda egalizării şi dirijării potenţialelor constă în a dirija potenţialele cu care omul poate intra în contact - potenţialul mâinilor şi potenţialul picioarelor - astfel încât acestea să aibă valori, dacă nu egale, cel puţin apropiate, astfel ca tensiunile de atingere şi de pas să fie, practic, neglijabile şi omul protejat.

În mod teoretic, aceasta se poate realiza executând, la suprafaţa solului, o priză de pământ dintr-o placă metalică de dimensiunea suprafeţei pe care se află masele metalice ce accidental ar putea ajunge sub tensiune, (fig. II.7.20). Toate masele metalice s-ar lega la această priză.

În cazul unui defect la unul din utilaje 4 (fig. II.7.20) stelajul metalic al acestuia ar fi pus sub tensiune şi, odată cu el, placa 1, prin intermediul legaturii metalice 5. În acest fel, potenţialele punctelor A, B, C vor fi egale. Dacă omul atinge o astfel de masă metalică pusă sub tensiune, tensiunea de atingere (între mâna, - A şi picior, - B) şi tensiunea de pas (între picior, - B şi picior, - C) vor fi nule. Va exista un pericol numai dacă omul se află pe sol, în afara plăcii, şi atinge un element metalic aflat în contact cu placa.

În practică, placa este înlocuită cu o reţea metalică din fier - beton inclusă în placa din beton a construcţiei. Potenţialul la suprafaţa plăcii, pe care se află masele metalice ale utilajelor (ce accidental ar putea ajunge sub tensiune), nu va mai fi constant ci va avea o variaţie de tipul celei din fig. II.7.21.

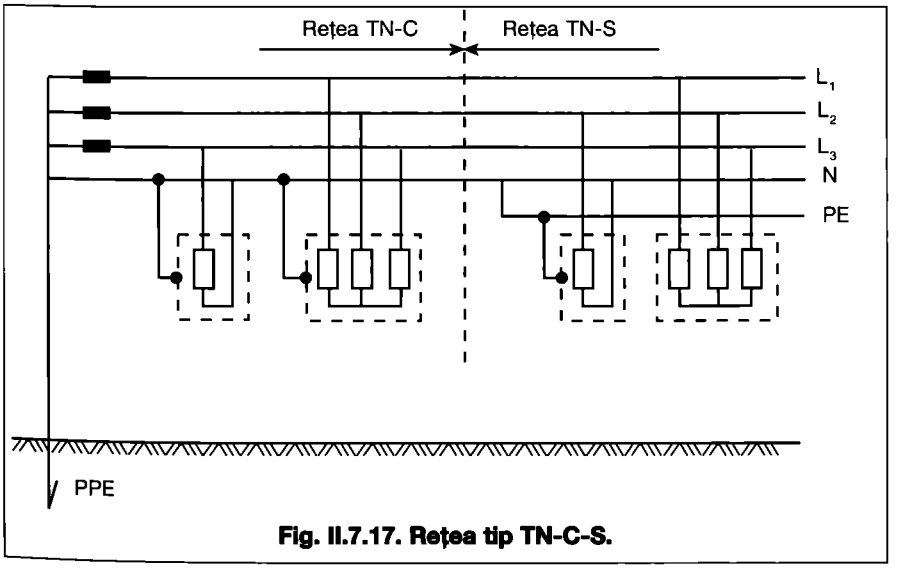


Fig. II.7.17. Reţea tip TN-C-S.

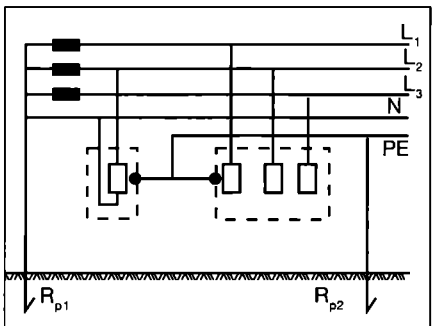


Fig. II.7.18. Reţea tip TT:
R_{p1} - priza de pământ de exploatare a transformatorului reţelei; R_{p2} - priza de pământ la care se leagă masele metalice ale consumatorului.

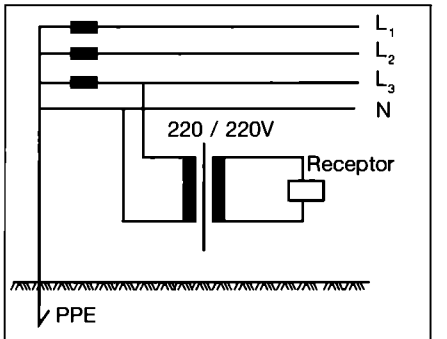


Fig. II.7.19. Receptor alimentat printr-un transformator de separare.

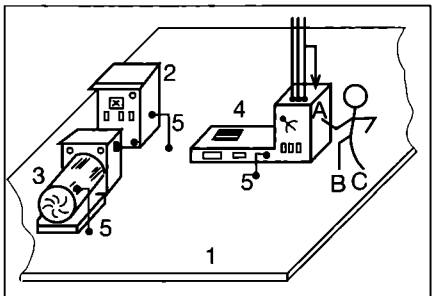


Fig. II.7.20. Principiul metodei egalizării şi dirijării potenţialelor:
1 - placă metalică; 2 - dulap metalic cu echipament electric; 3 - carcasa metalică a unui motor; 4 - stelaj metalic al unui utilaj electric; 5 - legături de egalizare a potenţialelor.

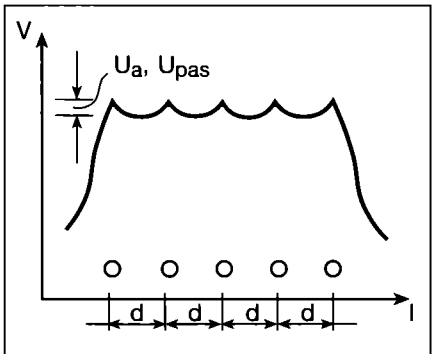


Fig. II.7.21. Variaţia potenţialului la suprafaţa plăcii pe care se află masele metalice ce, accidental, ar putea ajunge sub tensiune.

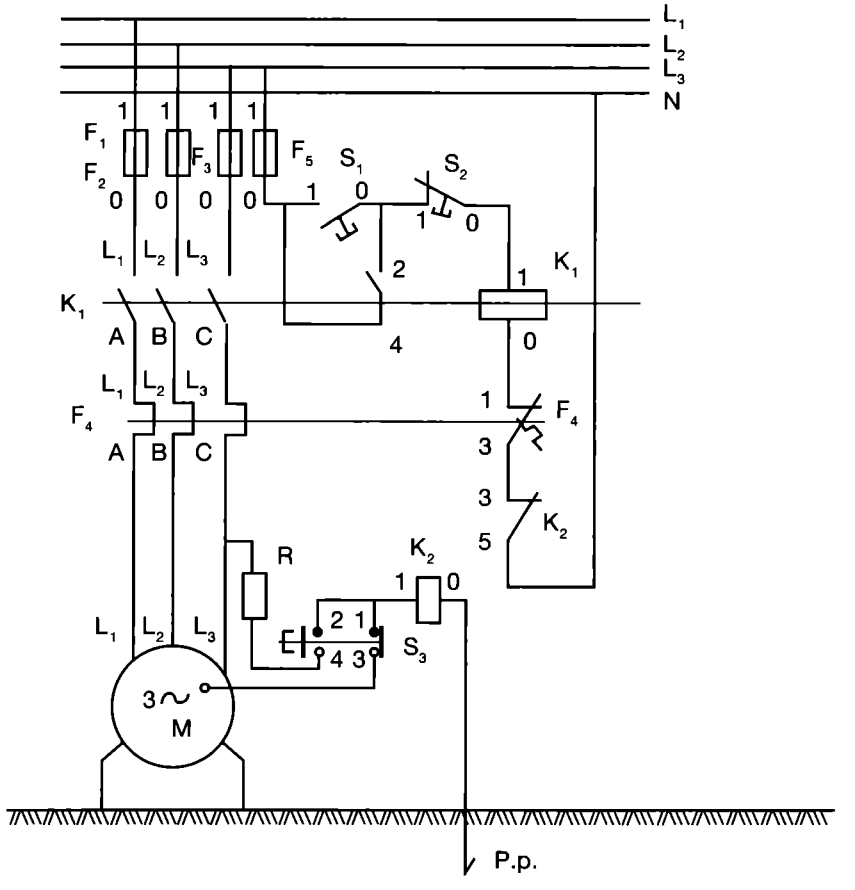


Fig. II.7.22. Schema de principiu a protecției împotriva tensiunilor accidentale de atingere prin deconectarea automată la apariția tensiunii de atingere periculoasă.

Tensiunile de atingere U_a și de pas U_{pas} nu vor mai fi nule. Valorile acestora vor depinde de distanța dintre conductoarele metalice (d) ce înlocuiesc placa. La distanța d sub 30 cm tensiunile de atingere și de pas sunt sub valorile ce ar putea duce la curenți periculoși pentru om.

Metoda este aplicată în industrie, dar are dezavantajul că, pe lângă o cheltuială mare, obligă la o bună coordonare a lucrărilor de construcții cu cele de instalații, pentru a realiza continuitatea electrică a rețelei metalice din placă. Totodată trebuie să se ia măsuri ce să nu permită, în nici un fel, ca un om ce s-ar putea afla în afara zonei de protecție să poată intra în contact cu un element metalic aflat în zona de protecție și pus sub tensiune (țevi metalice, corniere etc.).

Metoda deconectării automate la apariția unei tensiuni de atingere periculoase constă în aceea că, la apariția unei astfel de tensiuni între masa metalică a unui utilaj și pământ, utilajul respectiv este scos de sub tensiune. Principiul metodei este prezentat în fig. II.7.22. Motorul M trifazat este alimentat de la rețea, având pe circuit: siguranțele fuzibile F_1, F_2 și F_3 pentru protecție la scurtcircuit, contactul K_1 pentru acționare (dar care poate funcționa și ca releu de tensiunea minimă - deconectând alimentarea la o scădere a tensiunii sub 70 % din valoarea nominală) și releul termic trifazat F4. S1 și S2 sunt butoane cu revenire folosite pentru pornirea și, respectiv, oprirea motorului. S_1 se află în paralel cu contactul de automenținere K_1 (2-4).

Carcasa metalică a motorului este legată de pământ (priza P.P.) prin intermediul unui releu K_2, sensibil la tensiuni de peste 50 V, ce ar putea fi periculoase pentru om.

Dacă la motor are loc un defect ce ar duce la punerea sub tensiune a carcasei, releul K_2 este excitat și contactul NÎ-K_2 (3-5) al acestuia se deschide. În acest fel circuitul bobinei contactorului K_1, ce menținea în funcțiune motorul, este întrerupt. În acest fel contactele principale K_1 revin în poziția deschis scoțând de sub tensiune motorul.

Butonul S3 (cu revenire) are rolul de a simula un defect de punere sub tensiune a carcasei: releul K_2 este conectat între una din fazele de alimentare și pământ. Conectarea se face în serie cu o rezistență R dimensionată astfel încât căderea de tensiune pe releul K_2 să fie de 50 V. Simularea defectului se face la fiecare început de ciclu de activitate (schimb) a receptorului respectiv. Dacă protecția funcționează corect se poate pune în funcțiune receptorul. În caz contrar, se identifică locul defect, se înlătură defecțiunea și apoi se pune în funcțiune, pentru lucru, receptorul.

Metoda deconectării automate la apariția unui curent de defect. Metoda utilizează un echipament de protecție diferențială (§ 4.2.4) de sensibilitatea dorită. Acest echipament va scoate receptorul din funcțiune la orice defect de izolație sau de întrerupere a unei faze - defecte ce ar putea să conducă la punerea sub tensiune a maselor metalice ale acestuia. În acest fel omul nu este supus punerii sub tensiune ca urmare a defectelor menționate.

II. Instalații electrice

Capitolul 8

Instalații de protecție a clădirilor împotriva efectelor trăsnetelor

8.1.Probleme generale

1. **Trăsnetul** este o descărcare electrică între nori și pământ spre deosebire de fulger care este o descărcare electrică între norii aflați la potențiale diferite; de aceea locul de cădere a trăsnetului va fi determinat de câmpul electric cu o anumită probabilitate. Chiar pe timp senin, în atmosferă există un câmp electric de intensitate redusă, de 400-500 V/m; pe timp de furtună, intensitatea crește de mii de ori, din cauza unor fenomene complexe de natură atmosferică.

Plafonul de nori și suprafața pământului formează armăturile unui condensator uriaș al cărui dielectric este format de stratul de aer intermediar.

În funcție de poziția locului în care cade trăsnetul, efectele sale pot fi mai mult sau mai puțin nocive, constând în pagube materiale și/sau pierderi de vieți omenești.

Factorul principal care determină punctul în care solul este lovit de trăsnet îl prezintă *intensitatea câmpului electric*. În zonele de pe suprafața pământului în care câmpul depășește o anumită intensitate, apar fenomene de ionizare de natură foarte complicată, care favorizează producerea unui canal conductor în atmosferă prin care are loc deplasarea sarcinilor electrice, deplasare care formează *curentul de trăsnet*. Datorită încălzirii puternice a căilor prin care se închide, respectiv, a tensiunilor de pas mari pe care le provoacă, curentul de trăsnet poate conduce la incendii precum și la accidentarea oamenilor și a altor viețuitoare.

Suprafața pământului (conductor electric) este o suprafață echipotențială: în zonele în care această suprafață prezintă proeminențe, are loc o concentrare a câmpului care poate atrage trăsnetul. Asemenea zone sunt reprezentate, de exemplu, de îmbinările între pereții verticali ai construcțiilor și acoperiș, de turlele ascuțite ale bisericilor etc.

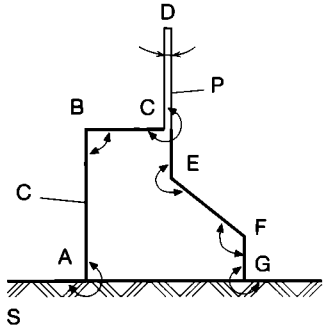


Fig. II.8.1. Contur echipotențial format din suprafața solului S, construcție C și un paratrăsnet vertical P.

În asemenea puncte, câmpul electric este cu atât mai intens, cu cât (vârful covex) este mai ascuțit. Pentru cazul înfățișat în fig. II.8.1 trăsnetul va prefera să cadă în vârful D: mai puțin periclitat este vârful B și încă mai puțin vârful F. În punctele de tipul A, C, E și G, care reprezintă vârfuri concave, pericolul căderii trăsnetului este minim, câmpul electric fiind foarte atenuat.

Factorul determinant pentru stabilirea locului de cădere a trăsnetului îl reprezintă deci, intensitatea câmpului electric. Alături de aceasta însă, desfășurarea fenomenelor este influențată de unele condiții microclimatice din zonă: forma plafonului de nori și distribuția sarcinilor pe suprafața lor, direcția și viteza vântului, distribuția în atmosferă a temperaturii, precum și cea a concentrației umidității și a altor substanțe. Acești factori suplimentari au un caracter aleatoriu.

Stabilirea necesității prevederii instalației de paratrăsnet

Normativul I-7-2009 stabilește necesitatea prevederii instalației de paratrăsnet, pentru o construcție pe baza frecvenței anuale prevăzute de lovituri de trăsnet directe pe construcție (sau pe volumul de protejat) N_d și a frecvenței anuale acceptate de lovituri de trăsnet N_c.

Atunci când $N_d \leq N_c$ nu este necesară instalarea unei instalații de paratrăsnet.

Mărimea N_d (lovituri/an) se determină cu relația:

$N_d = N_g \cdot A_e \cdot C_1 \cdot 10^{-6}$ [lovituri/an] (8.1.1)

unde:

N_g - este densitatea anuală a loviturilor de trăsnet din regiunea în care este amplasată construcția [număr de lovituri/km^2·an];

A_e - suprafața echivalentă de captare a construcției [m^2];

C_1 - un coeficient ce ține seama de mediul înconjurător.

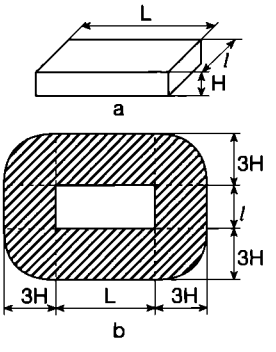


Fig. II.8.2 Metoda de stabilire a suprafeței echivalente pentru o clădire paralelipipedică:
a - dimensiunile clădirii; b - suprafața A_e.

Pentru *densitatea anuală a loviturilor de trăsnet* se utilizează relația:

$N_g = 0{,}04\ N_K^{1{,}25}$ [nr. lovituri/km^2·an] (8.1.2)

unde:

N_K - este indicele keraunic al regiunii în care este amplasată construcția (Anexa II.8.1).

În tabelul II.8.1 se prezintă numărul

Tabel II.8.1. Numărul mediu anual de zile cu oraje (furtuni) (1961 - 1990)

Nr. crt.	Stație meteorologică	Nr. zile
1.	Alexandria	39,6
2.	Baia Mare	39,3
3.	Bistrița	42,4
4.	Bârlad	36,4
5.	Botoșani	29,8
6.	Brașov	40,0
7.	București - Băneasa	36,6
8.	Calafat	33,7
9.	Ceahlău (vârf 1900 m)	42,5
10.	Câmpina	45,8
11.	Câmpeni	38,4
12.	Câmpulung Mold.	34,7
13.	Câmpulung Muscel	55,3
14.	Constanța	24,8
15.	Craiova	35,2
16.	Curtea de Argeș	41,4
17.	Deva	47,2
18.	Drobeta-Tr. Severin	42,8
19.	Făgăraș	45,2
20.	Fetești	29,2
21.	Galați	32,1
22.	Giurgiu	33,5
23.	Griviția	33,7
24.	Gurahonț	48,2
25.	Iași	37,8
26.	Miercurea Ciuc	35,5
27.	Odorheiul Secuiesc	46,5
28.	Parâng	46,8
29.	Piatra Neamț	37,0
30.	Platforma Gloria	6,7
31.	Polovragi	40,2
32.	Predeal	43,8
33.	Răuseni	28,6
34	Rădăuți	33,9
35.	Roșiori de Vede	41,0
36.	Satu Mare	38,1
37.	Semenic	42,3
38.	Sibiu	39,6
39.	Sinaia	46,2
40.	Sf. Gheorghe (Delta)	18,1
41.	Suceava	32,7
42.	Timișoara	37,9
43	Târgu Mureș	41,8
44.	Tg. Logrești	41,4
45.	Târgoviște	45,5
46	Tg. Jiu	58,8
47.	Tg. Ocna	36,1
48.	Toplița	44,3
49.	Turnu Măgurele	35,1
50.	Turda	38,5
51.	Țarcu (2200 m)	33,6
52.	Vf. Omu	40,8
53.	Vlădeasa (1800 m)	43,8
54.	Zalău	37,7

mediu anual de zile cu oraje (furtuni), pentru unele localități din țară (N_K).

Suprafața echivalentă A_e se stabilește după metoda prezentată în fig. II.8.2, pentru o clădire paralelipipedică.

Suprafața echivalentă de captare pentru o construcție paralelipipedică (fig. II.8.2) este:

$$A_e = L \cdot l + 6H(L + l) + 9\pi H^2 =$$
$$= (6H + L)(6H + l) - 9(4-\pi)H^2 \quad (8.1.3)$$

Pentru părțile proeminente ale construcțiilor cum ar fi turnurile, coșurile etc, suprafața echivalentă este un cerc cu raza egală cu de trei ori înălțimea acesteia (fig. II.8.3).

Pentru un turn suprafața echivalentă este:

$$A_e = 9\pi H^2 \quad (8.1.4)$$

În stabilirea suprafeței de captare echivalentă se ține seama și de următoarele reguli:

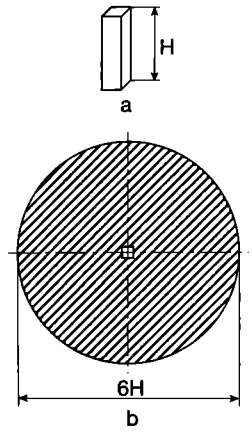


Fig. II.8.3. Stabilirea suprafeței echivalente A_e pentru un turn:
a - turn de înălțime H; b - suprafața A_e.

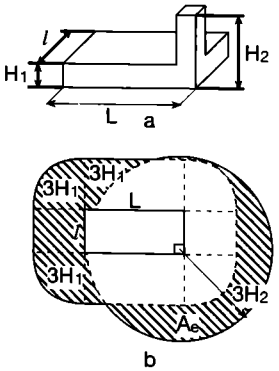


Fig. II.8.4. Stabilirea suprafeței echivalente în cazul unei construcții cu turn (coș):
a - dimensiunile construcției; b - suprafața A_e.

Tabelul II. 8.5.Valorile coeficientului C_4 în funcție de gradul de ocupare al construcției

Neocupate	0,5
Normal ocupate	1
Evacuare dificilă sau risc de panică	3

- când o suprafață de captare echivalentă a unei construcții acoperă complet pe cea a altei construcții, aceasta din urmă nu se ia în considerare;
- dacă suprafețele de captare ale mai multor construcții (alăturate) se suprapun, suprafața comună rezultată se consideră că o singură suprafață de captare echivalentă A_c (fig. II.8.4).

Calculul suprafeței A_e din fig. II.8.4 se va face prin aproximare, de regulă, printr-o reprezentare la scară pe hârtie milimetrică.

Coeficientul C_1 se determină din tabelul II.8.2.

Mărimea N_c se stabilește cu relația:

$$N_c = \frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5} \quad [\text{lovituri/an}] \quad (8.1.5)$$

unde:

C_2, C_3, C_4 și C_5 - sunt coeficienți dați în tabelele II.8.3... II.8.6.

Nivelul de protecție al instalației de paratrăsnet

Instalația de paratrăsnet este necesară atunci când $N_d > N_c$.

Eficacitatea instalației de paratrăsnet, ce trebuie prevăzută pe construcție, este dată de relația:

$$E = 1 - N_c / N_d \quad (8.1.6)$$

În funcție de eficacitatea ce trebuie să o asigure instalația de paratrăsnet, aceasta va corespunde nivelurilor de protecție din tabelul II.8.7.

În funcție de cele patru niveluri de protecție se vor alege dimensiunile elementelor componente ale instalației de paratrăsnet.

8.2. Cazuri în care echiparea cu instalația de protecție împotriva trăsnetelor este obligatorie

a) Construcții în care se află încăperi cu aglomerări de persoane astfel:
- teatre, cinematografe, săli de concert, săli de sport, circuri, săli de întruniri etc. cu peste 400 locuri;
- spitale, sanatorii etc. cu peste 75 de paturi;
- universități, școli, gradinițe, creșe, cu mai mult de 10 clase, săli de joc, laboratoare sau ateliere;
- restaurante și magazine cu suprafața peste 1000 m² (fără spațiile de depozitare și anexe);
- clădiri pentru călători, în care în perioada de trafic maxim se pot afla mai mult de 300 călători;

b) Construcții care adăpostesc valori de importanță națională, ca muzee, expoziții permanente, arhive etc. sau monumente istorice sau de arhitectură;

c) Construcții de locuit cu parter și 11 etaje sau mai multe;

d) Construcții înalte și foarte înalte, diferite de normativul P118;

e) Construcții și instalații tehnologice exterioare care sunt de cel puțin două ori mai înalte decât construcțiile sau copacii din jur și au cel puțin

Tabelul II 8.2. Valorile coeficientului C_1

Amplasarea construcției	C_1
Construcție amplasată într-o zonă cu alte construcții sau arbori	0,25
Construcție înconjurată de construcții mai mici	0,5
Construcție izolată, fără alte construcții pe o distanță de cel puțin 34 m	1
Construcție izolată pe vârful unei coline sau promontoriu	2

Tabelul II.8.3.Valorile coeficientului C_2 în funcție de natura construcției

Acoperiș / Structură	Metal	Beton	Material combustibil
Metal	0,5	1	2
Beton	1	1	2,5
Material combustibil	2	2,5	3

Tabelul II.8.4. Valorile coeficientului C_3 în funcție de conținutul construcției

Fără valori și necombustibile	0,5
Valori obișnuite și normal combustibile	1
Valori importante sau combustibile	2
Valori inestimabile, de patrimoniu sau ușor combustibile, explozive	3

Tabelul II.8.6. Valorile coeficientului C_5 în funcție de consecințele trăsnetului

Nu necesită continuarea lucrului și nu are efecte dăunătoare asupra mediului	1
Necesită continuarea lucrului și nu are efecte dăunătoare asupra mediului înconjurător	5
Efecte dăunătoare asupra mediului	10

10 m înălțime (coșuri de fum, castele de apă, turnuri, clădiri turn etc.);
f) Construcții și instalații tehnologice exterioare, amplasate izolat în zone cu indice keraunic mai mare de 30 (coloane, clădiri pentru călători de pe liniile de cale ferată etc.);
g) Construcții de importanță pentru economia națională (centrale termice, centrale telefonice, centre de calcul etc.);
h) Construcții și instalații tehnologice exterioare încadrate în categoria C de pericol de incendiu dacă se află în zone cu indicele keraunic mai mare de 30 și dacă materialele combustibile ce se manevrează, prelucrează sau depozitează sunt obiecte de bază ale întreprinderii sau au o valoare mare sau sunt de importanță deosebită;
i) Depozite deschise de materiale și/sau substanțe încadrate în clasele de periculozitate P3, P4 și P5 conform normativului P118 dacă sunt situate în zone cu indice keraunic mai mare de 30 și dacă sunt considerate obiecte de bază ale întreprinderii sau având valoare mare sau importanță deosebită.
j) Construcții și instalații tehnologice exterioare încadrate în categoriile BE3a sau BE3b de pericol de incendiu, conform normativului I - 7;
k) Construcții pentru adăpostirea animalelor, dacă sunt:
- grajduri pentru animale de rasă, indiferent de capacitate;
- grajduri pentru animale mari cu mai mult de 200 capete;
- grajduri pentru animale mari cu peste 100 de capete dacă se află în zone cu indicele keraunic mai mare de 30;
- depozite de furaje fibroase amplasate în zone cu indicele keraunic mai mare de 30;
l) Amenajări cu public, cu peste 5000 locuri;
m) Poduri amplasate izolat în zone cu indice keraunic mai mare de 30;
n) Instalații mobile de ridicat și transportat, existente în aer liber (de exemplu, macarale).

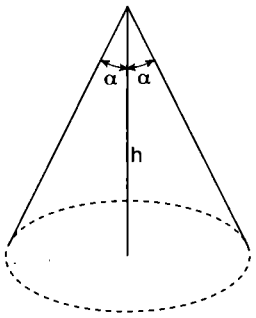


Fig. II.8.5. Volumul protejat de o tijă de captare simplă.

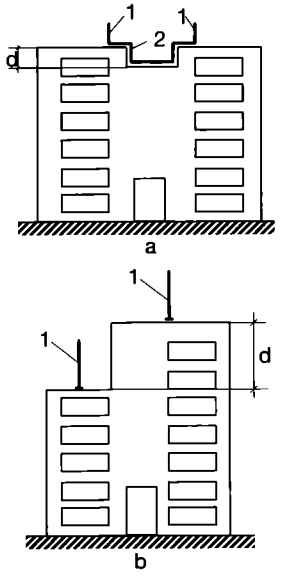


Fig. II.8.6. Legarea tijelor de captare: *a - d < 1,5 m - tijele (1) se leagă între ele (2); b - d ≥ 1,5 m - nu este necesară legătura între tije (1).*

8.3. Instalații de paratrăsnet

Acestea se proiectează și se execută conform normativului I - 07 - 2009 din cap.6, II. Instalații Electrice.

Instalația de protecție împotriva trăsnetului este, în general, formată din:

A. Instalația exterioară (IEPT) compusă, la rândul ei, din:
- dispozitivele de captare;
- conductoarele de coborâre;
- priza de pământ și
- legături echipotențiale.

Tabelul II.8.7. Nivelul de protecție al instalației de paratrăsnet în funcție de eficacitatea E

E	Nivel de protecție
0,95 < E ≤ 0,98	Întărit (I)
0,90 < E ≤ 0,95	Întărit (II)
0,80 < E ≤ 0,90	Normal (I)
E ≤ 0,80	Normal (II)

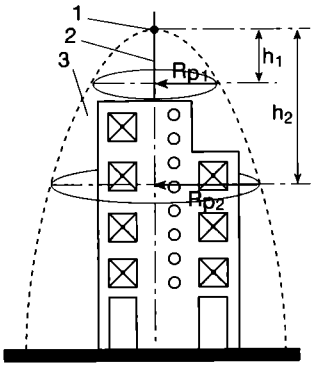


Fig. II.8.7. Volumul protejat de o tijă de captare cu dispozitiv de amorsare: 1 - dispozitiv de amorsare; 2 - tijă; 3 - volumul protejat.

IEPT au rolul de a capta direct loviturile de trăsnet, de a conduce curentul la pământ și de a disipa energia trăsnetului astfel încât să nu se producă descărcări termice sau mecanice pentru construcția de protejat și fără a conduce la supratensiuni periculoase pentru persoanele sau echipamentele din construcții.

De regulă, IEPT sunt fixate direct pe construcția de protejat, fără a fi izolată de aceasta.

IEPT se poate executa și izolată față de construcția de protejat dacă:
- nu sunt admise efecte termice în punctele de impact cu trăsnetul sau pe conductoarele prin care trece curentul produs de trăsnet, deoarece ar produce deteriorări construcției sau conținutului acesteia;
- construcția urmează să sufere transformări importante care ar duce la modificarea IEPT.

B. Instalația interioară (IIPT) formată din:
- legături echipotențiale și
- bare pentru egalizarea potențialelor (BEP).

8.3.1. Dispozitivele de captare

Acestea se constituie din unul sau mai multe din următoarele elemente:
- tije de captare simple;
- tije echipate cu un dispozitiv de amorsare, electronice sau piezoelectrice;
- conductoare de captare simple sau dispuse într-o rețea.

În funcție de nivelul de protecție (din tabelul II.8.7) folosirea diverselor elemente de captare se face respectându-se condițiile din tabelul II.8.8, referitoare la înălțimea (h) pentru punctul cel mai de sus al dispozitivului de captare și la dimensiunile ochiurilor rețelei de captare.

Limitele volumului de protecție la trăsnet creat de dispozitivele de captare:

- *Tija de captare simplă:* volumul protejat este acela al unui con a cărui axă este tija de captare (fig. II.8.5), iar unghiul α are valorile din tabelul II.8.8 corespunzător nivelului de protecție și înălțimii h a vârfului tijei față de sol.

Tijele de captare se execută, de regulă, din oțel zincat, oțel inox sau cupru electrolitic. Dimensiunea minimă a tijelor trebuie să fie de 2 m în lungime și 18 mm, diametru (fiind preferat materialul cu secțiunea rotundă). În capătul superior al tijei se fixează un vârf ascuțit cu lungimea de 0,3...0,8 m. Dacă se utilizează oțelul zincat secțiunea se ia dublă (diametru de 26 mm).

Tijele de captare se montează vertical sau înclinat cu cel mult 30° față de verticală. Acestea se fixează și se ancorează de elementele de construcție astfel încât să reziste la solicitările me-

canice și la intemperii. Dacă dispozitivul de captare se compune din mai multe tije, acestea le leagă între ele (fig. II.8.6 a).

Legătura nu este obligatorie atunci când denivelarea traseului pe care trebuie să-l execute conductorul de legătură este mai mare de 1,5 m (fig. II.8.6 b).

- Tija de captare echipată cu un dispozitiv de amorsare: volumul de protecție creat de un astfel de sistem de captare este delimitat de o suprafață de revoluție cu axa pe direcția tijei (fig. II.8.7).

Dispozitivul de amorsare poate fi electronic sau piezoelectric. Are rolul de a genera un avans de timp în amorsarea trăsnetului (DT) (prin compararea în aceleași condiții cu o tijă de captare simplă).

Astfel de dispozitive de captare se prevăd pe construcții cu înălțimea maximă de 60 m. Raza de protecție R_p este dată de relația:

$$R_p = \sqrt{h(2R-h) + \Delta L(2R+\Delta L)} \quad (8.3.1)$$

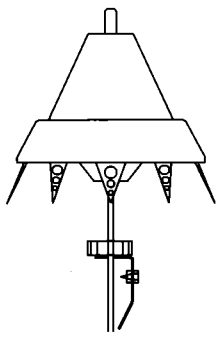


Fig. II.8.8. Dispozitiv de amorsare tip PREVECTRON 2.

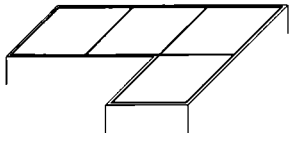


Fig. II.8.9. Instalație de captare tip rețea pe un acoperiș terasă.

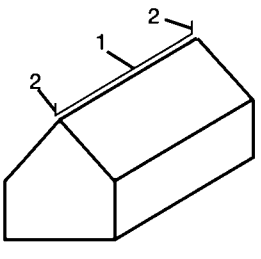


Fig. II.8.10. Montarea conductorului de captare pe coamă:
1 - conductor orizontal;
2 - tijă de captare de 0,3 m.

unde:

h - este înălțimea dispozitivului de amorsare (vârful tijei) față de planul orizontal al construcției de protejat (fig. II.8.6);

R - raza sferei fictive corespunzătoare nivelului de protecție (tab. II.8.8);

ΔL - lungimea suplimentară determinată de avansul ΔT al dispozitivului de amorsare, calculată cu relația:

$$\Delta L = v \cdot \Delta T \quad (8.3.2)$$

unde:

ΔT - avansul dispozitivului de amorsare [μ s] dat de producător, iar v, viteza de propagare a liderului ascendent și descendent. În calcule se ia v = 1 m/μs (experimental, această mărime variază între *0,9...1,1* m/μs).

Relația 8.3.1 este aplicabilă numai pentru $h \geq 5$ m. Pentru $h < 5$ m se pot utiliza datele oferite de fabricant sau datele oferite de Normativul I - 07 - 2009.

Spre exemplu, firma INDELEC - Franța execută dispozitive de amorsare - tip PREVECTRON, în cinci variante constructive ce diferă prin materialul utilizat; (cupru sau oțel inoxidabil) și prin avansul de amorsare ΔT, cuprins între 25 și 60 μs.

În fig. II.8.8 se prezintă dispozitivul de amorsare PREVECTRON2 - tip S 6.60 având înălțimea de 385 mm și diametrul maxim 185 mm. Acesta se montează în vârful tijei de susținere.

Conductoare de captare simple sau dispuse într-o rețea

Acestea se plasează pe conturul clădirii formând un poligon închis. Atunci când formează o rețea (fig.II.8.9), ochiurile acesteia trebuie să aibă dimensiunile maxime impuse de nivelul de protecție ce trebuie asigurat de instalație (tabelul II.8.8).

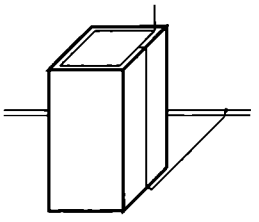


Fig. II.8.11. Instalația de captare fixată pe elementele de construcție proeminente de pe acoperiș.

Conductoarele de captare se pot executa din:

- oțel zincat: rotund, cu diametrul de 8 mm sau bandă de 20 x 2,5 mm;
- oțel inoxidabil sau cupru electrolitic: rotund, cu diametrul de 8 mm sau bandă de 30 x 2 mm;
- aluminiu: rotund, cu diametrul de 8 mm sau bandă de 25 x 3 mm;
- elemente naturale cum ar fi table, țevi, ferme, șine, armături din oțel - beton etc. cu condiția ca trecerea curentului electric datorat trăsnetului, să nu afecteze buna funcționare a echipamentelor din care acestea fac parte. Pentru acestea se impune să fie asigurată continuitatea electrică și să aibă o grosime minimă de:
  - 4 mm pentru oțel (inoxidabil, galvanizat);
  - 5 mm pentru cupru;
  - 7 mm pentru aluminiu.

Când se montează pe coamele construcției, conductoarele de captare se îndoaie în sus (la capetele coamelor) pe o înălțime de circa 0,3 m pentru a forma mici tije de captare (fig. II.8.10).

Conductoarele de captare se montează direct pe elementele de construcție (învelitori sau pereți) necombustibile, ca beton sau tablă. Când se montează pe alte tipuri de învelitori sau pereți distanțele minime față de acestea sunt:

- față de carton asfalt, materiale hidro sau termoizolante pe suport:

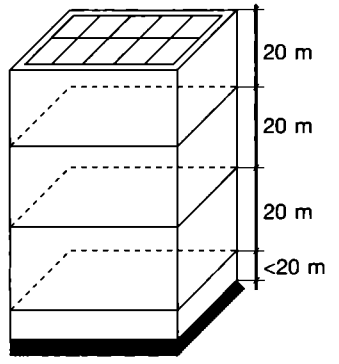


Fig. II.8.12. Montarea conductoarelor de captare suplimentare pentru protecția împotriva loviturilor de trăsnet din lateral.

Tabelul II.8.8. Caracteristicile de dispunere a dispozitivelor de captare și metodele de stabilire a volumului protejat

Nivelul de protecție	Dimensiunile rețelei de captare [m×m]	Raza sferei fictive R[m]	Înălțimea maximă a dispozitivului de captare h [m]			
			20	30	45	60
			Unghiul de protecție α [°]			
Întărit (I)	5×5	20	25	*	*	*
Întărit (II)	10×10	30	35	25	*	*
Normal (III)	15×15	45	45	35	25	*
Normal (IV)	20×20	60	55	45	35	25

* Pentru aceste cazuri se aplică metodele rețelei și sferei fictive

- necombustibil 0,1 m;
- combustibil 0,4 m;

• față de învelitori din materiale ușor combustibile (paie, stuf):
- până la suprafața acoperișului 0,4 m;
- până la coama acoperișului 0,6 m;

• față de pereți (aticuri, coșuri de ventilare, aerisire etc.) din materiale:
- necombustibile, direct pe acestea;
- combustibile 0,2 m.

Conductoarele de captare se instalează pe construcție cu piese de fixare. Distanța dintre acestea este 1...1,5 m pe traseele orizontale și de 1,5...2 m pe traseele verticale. Fixarea trebuie realizată astfel încât să nu se producă ruperea sau slăbirea acesteia sub efectul electrodinamic al trăsnetului sau la alte solicitări mecanice, cum ar fi cele din alunecări de zăpadă, tasări ale construcției, cutremur etc.

Elementele metalice aflate pe acoperiș și care se află în contact cu părți ale construcției în legătură cu pământul se leagă la rețeaua de conductoare de captare pe drumul cel mai scurt (țevi de amorsare, canale de ventilare, si-

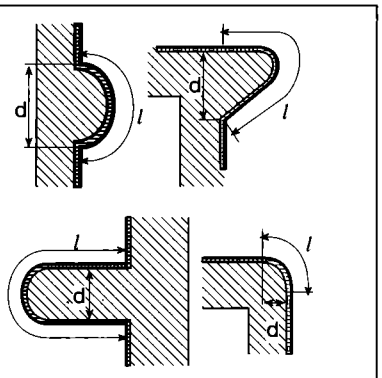


Fig. II.8.13. Stabilirea dimensiunilor pentru mărimile *d* și *l* pe traseul coborârilor.

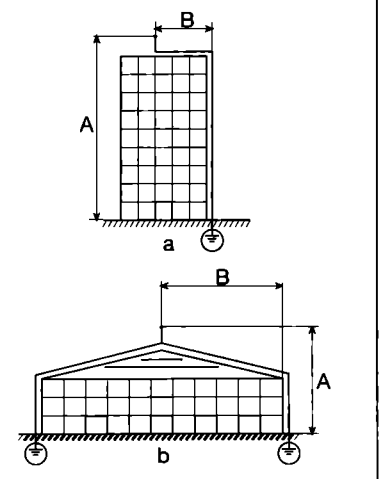


Fig. II.8.14. Legarea dispozitivului de amorsare la pământ:
a - printr-o coborâre (A<28 m; A>B);
b - prin cel puțin două coborâri (A > 28 m; A ≤ B).

foane de terasă etc.)

Elementele de construcție proeminente de pe acoperiș (cum ar fi coșurile, camera troliului liftului etc.) vor fi prevăzute cu conductoare de captare pe contur (la partea superioară) și incluse în rețeaua de captare. Se pot prevedea și cu mici tije captatoare de maxim 0,3 m înălțime (fig. II.8.11).

La construcțiile cu înălțime mai mare de 30 m, care nu mai au pe pereții exteriori elemente metalice ce ar putea fi utilizate ca elemente de captare naturale (de exemplu: fațade metalice, conducte), se prevăd conductoare de captare suplimentare din 20 în 20 m (pe conturul clădirii) pentru protecția împotriva loviturilor de trăsnet din lateral. Ultimul conductor se va afla la cel mult 20 m față de sol (fig. II.8.12).

8.3.2. Conductoarele de coborâre

Au rolul de a conduce sarcina electrică către pământ:
- pe cât posibil pe mai multe trasee în paralel;
- fiecare traseu spre pământ să fie cât mai scurt posibil.

Conductoarele de coborâre leagă dispozitivele de captare de priza de pământ. Se execută de regulă din:
- oțel zincat: bandă 20 x 2,5 mm sau rotund ϕ 8 mm;
- oțel inoxidabil sau cupru electrolitic: bandă 30 x 2 mm sau rotund ϕ 8 mm;
- aluminiu: bandă 25 x 3 mm sau rotund ϕ 8 mm;

Dimensiunile de mai sus sunt dimensiuni minime. Ele pot fi mărite cu până la 100 % dacă se apreciază că există riscul de corosiune sau de solicitări mecanice.

De regulă, se mai pot folosi drept coborâri și elementele mecanice verticale ale construcțiilor și instalațiilor dacă acestea au asigurată continuitatea electrică (prin lipirea, sudare, sertizare, înșurubare, eclisare etc.) și dimensiunile minime de mai sus. Se pot utiliza drept coborâri:
- scheletul metalic al construcției;
- armăturile din oțel ale construcției (cu excepția celor pretensionate);
- elemente metalice de fațade, profilele etc.

Nu se pot utiliza drept coborâri naturale:
- conductele metalice pentru fluide combustibile (acestea se leagă la nivelul solului de cea mai apropiată coborâre);
- elementele de fațadă atunci când aparțin unor construcții încadrate în categoriile BE2 (pericol de incendiu) sau AE5 (cu praf combustibil), conform normativului I - 07 - 2009, și construcția nu este metalică.

Conductele de coborâre se execută de preferință dintr-o singură bucată, fără îmbinări. În cazul în care acestea sunt necesare, numărul lor se reduce la minimum. Acestea se execută vertical, evitându-se buclele și schimbările de direcție. Când acestea nu pot fi evitate (fig. II.8.13) este necesar să se respecte condiția: d > S unde:

$$S = \frac{n \cdot k_i}{K_m} \cdot l \quad [m] \qquad (8.3.3)$$

în care:

n - este un factor dependent de numărul de coborâri;
- n = 1 pentru o coborâre;
- n = 0,6 pentru două coborâri;
- n = 0,4 pentru trei sau mai multe coborâri;

k_i - un factor dependent de nivelul de protecție:
- k_i = *0,1* pentru nivelul întărit (I);
- k_i = *0,075* pentru nivelul întărit (II);
- k_i = *0,05* pentru nivelul normal (III și IV).

K_m - un factor dependent de materialul dintre cele două extremități ale buclei:
- K_m = *1* pentru aer;
- K_m = *0,5* pentru un material plin;

l - lungimea buclei [mm] așa cum se arată în fig. II.8.13.

Fiecare conductor de coborâre, cu excepția celor naturale, este prevăzut cu o piesă de separație la locul de racordare cu conductorul de legare la priza de pământ. Piesele se amplasează, de regulă, la 2 m de nivelul solului, fie aparent, fie într-o firidă special amenajată. Ele se realizează astfel încât să nu poată fi demontate decât cu ajutorul unor scule (atunci când se execută măsurători ale rezistenței prizei de pământ).

Distanțele dintre conductoarele de coborâre se iau în funcție de nivelul de protecție al instalației de paratrăsnet astfel:
- întărit I - 10 m;
- întărit II - 10 m;
- normal III - 15 m;
- normal IV - 20 m.

Traseul conductoarelor de coborâre trebuie să se găsească la cel puțin 0,5 m de cadrul ferestrelor și ușilor.

În situațiile în care dispozitivul de captare este format dintr-o tijă prevăzută cu dispozitiv de amorsare, acesta se leagă la pământ printr-un singur conductor de coborâre (fig. II.8.14 a), atunci când înălțimea construcției este A < 28 m și proiecția pe orizontală a conductorului de coborâre (B) este mai mică decât proiecția lui pe verticală (A).

Dacă A > 28 m sau A > B se prevăd cel puțin două conductoare de coborâ-

re (fig. (II.8.14 b).

Conductoarele de coborâre se pot instala și în interiorul construcțiilor, numai în încăperi din categoriile BE1a sau BE1b de pericol de incendiu, conform normativului I - 7, din construcții de gradul I, II sau III de rezistență la foc, conform normativului P 118.

Nu se admite ca traseul conductoarelor de coborâre să treacă prin burlane, balcoane, logii, luminatoare. Punctele de fixare a conductoarelor de coborâre pe elementele de construcție trebuie să se găsească la cel mult 1,5...2 m unul de celălalt.

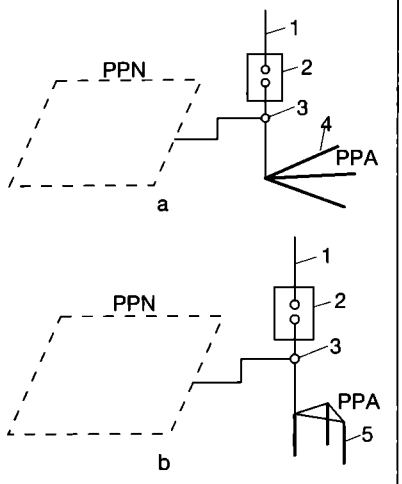


Fig. II.8.15. Exemple de legare a prizelor de pământ ale aceleiași clădiri când instalația de paratrăsnet are un singur conductor de coborâre:
PPN - priză de pământ naturală (de fundație); PPA - priză de pământ artificială; 1 - conductor de coborâre; 2 - piesă de separație; 3 - legătură demontabilă; 4 - electrozi orizontali; 5 - electrozi verticali (în buclă).

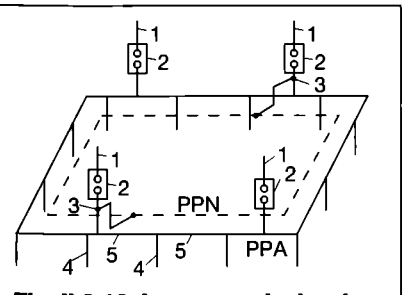


Fig. II.8.16. Legarea prizelor de pământ naturală și artificială a aceleiași clădiri când instalația de paratrăsnet are mai multe conductoare de coborâre:
PPN - priză de pământ naturală (de fundație); PPA - priza de pământ artificială (pe contur închis); 1 - conductor de coborâre; 2 - piesă de separație; 3 - legătură (demontabilă) dintre PPN și PPA; 4 - electrod vertical; 5 - electrod orizontal de legătură.

8.3.3. Priza de pământ

Este formată din elemente metalice ce au rolul de a disipa sarcinile electrice rezultate din descărcarea loviturii de trăsnet fără a provoca supratensiuni periculoase de pas.

Prizele de pământ sunt:
- *singulare*, formate dintr-un singur electrod ce poate fi vertical sau orizontal;
- *multiple,* când sunt formate din mai mulți electrozi orizontali sau verticali și orizontali;
- *orizontale*, când electrozii sunt amplasați în plan orizontal în apropierea solului. Prizele provizorii se amplasează la 0,5 m de suprafața solului, iar cele definitive sub adâncimea de îngheț a zonei conform STAS 6054, dar nu la mai puțin de 0,5 m;
- *verticale*, când electrozii principali de dispersie sunt electrozi verticali (legați între ei cu electrozi orizontali). În funcție de adâncimea la care se montează acestea pot fi:
  * *de adâncime* când partea superioară a electrozilor verticali se află la cota de îngheț a zonei, dar nu mai puțin de 0,5 m față de suprafața terenului;
  * *de mare adâncime* când partea superioară a electrozilor verticali se află la mai mult de 5 m față de suprafața terenului, care, de regulă, este un teren stâncos. În astfel de situații electrozii se montează prin forare, până se atinge o porțiune de teren cu rezistivitate mică;
- *naturale*: atunci când electrozii sunt naturali, din elemente metalice, în contact cu pământul, ale construcției sau instalațiilor acesteia, sau alte structuri metalice subterane care se află la cel mult 10 m de construcție și pot fi utilizate pentru trecerea curentului electric rezultat din lovitura de trăsnet, fără a-și pierde funcționalitatea;
- *artificiale*: atunci când electrozii sunt special destinați trecerii curentului electric spre sol.

În general, se recomandă prevederea de prize naturale. Acestea trebuie să îndeplinească următoarele condiții:
- să asigure continuitatea electrică pe toată lungimea prizei. De regulă, este utilizată armătura fundației clădirii care se sudează pe tot perimetrul;
- rezistența de dispersie să fie mai mică de 5 Ω;
- să se prevadă posibilități de acces pentru elementele de racord la conductoarele de coborâre ale instalației de paratrăsnet sau la conductoarele pentru egalizarea potențialelor. Acestea (capete de armături, mustăți) se marchează vizibil cu vopsea roșie.

Atunci când nu sunt condiții pentru a realiza o priză naturală sau aceasta are rezistența de dispersie mai mare de 5 Ω se prevede o priză de pământ artificială. Dacă priza artificială este proprie instalației de paratrăsnet rezistența de dispersie trebuie să fie mai mică de 10 Ω. Dacă priza de pământ este comună instalațiilor de paratrăsnet și instalațiilor pentru protecția omului împotriva tensiunilor accidentale de atingere, rezistența de dispersie trebuie să fie sub 1 Ω.

Dimensiunile minime admise pentru electrozii prizei și racordurile la conductoarele de coborâre (respectiv de egalizare a potențialelor) sunt:
- pentru oțel zincat:
  - rotund ϕ 10 mm;
  - bandă 25 x 3 mm;
  - bară tubulară: diametrul exterior 25 mm și grosime 2 mm;
- pentru oțel nezincat secțiunile sunt duble față de OL-Zn;
- pentru oțel inoxidabil:
  - rotund ϕ 10 mm;
  - bandă 50 x 2 mm;
- cupru electrolitic:
  - rotund ϕ 8 mm;
  - bandă 25 x 2 mm;
  - bară tubulară: diametrul exterior 20 mm;
- armături din oțel beton: - diametrul 10 mm^2.

Când clădirea are o priză de pământ naturală (de fundație) și una artificială, cele două prize se leagă între ele (fig. II.8.15 și fig. II.8.16).

Dispunerea electrozilor PPA din fig. II.8.15 se adoptă în cazurile în care instalația de paratrăsnet este prevăzută cu cel mult două coborâri. Pentru fiecare dintre coborâri se prevăd:
- fie electrozi orizontali (fig. II.8.15) cu secțiunea egală sau echivalentă cu a conductorului de coborâre;
- fie verticali dispuși în buclă - triunghi echilateral (fig. II.8.15b) sau în linie.

Când instalația de paratrăsnet are mai multe conductoare de coborâre (fig. II.8.16) și este prevăzută atât cu priză naturală (de fundație) și priză artificială, acestea se leagă între ele cel puțin în două puncte. Priza de pământ artificială poate fi executată pe contur poligonal închis, de regulă, în jurul construcției (fig. II.8.16) sau pe contur deschis.

Detaliile de legătură între conductoarele de captare și priza de pământ naturală se pot urmări în fig. II.8.17.

Electrozii verticali se execută, de regulă, din țeavă de OL-Zn 2" sau 2 1/2" cu lungimi de 3 m. Electrozii orizontali, de legătură între cei verticali, se execută de regulă, din bandă de OL-Zn 40 x 4 mm.

Electrozii prizei de pământ naturale se montează la distanță de cel puțin

1 m de fundația construcției. De asemenea, aceștia nu se vor afla sub locurile de acces în construcție, cu aglomerări de persoane (clădiri înalte și foarte înalte) sau zone cu circulație pietonală intensă. Când această condiție nu poate fi respectată se prevăd acoperiri izolante deasupra elementelor prizei (de exemplu: cauciuc, material plastic, lemn impregnat hidrofug etc.).

Elementele componente ale prizei de pământ trebuie să se găsească la distanțe minime, indicate în tabelul II.8.9, față de elementele metalice ale instalațiilor pozate în pământ (electrice, de apă, de gaze, de comunicații etc.) atunci când acestea din urmă nu se află conectate la legătura echipotențială principală a construcției.

Când aceste distanțe nu se pot respecta, acestea se izolează față de elementele prizei de pământ pe toată porțiunea de apropiere neregulamentară, cu tuburi din materiale electroizolante corespunzătoare tensiunii de 1000 V.

Calculul rezistenței prizei de pământ artificiale multiple

Electrozii, verticali și orizontali ai prizei de pământ sunt legați în paralel, astfel că rezistența prizei (R_{pp}) este dată de relația:

$$R_{pp} = \frac{R_v \cdot R_0}{R_v + R_0} \qquad (8.3.4)$$

unde:

R_v și R_0 - sunt rezistențele tuturor electrozilor verticali, respectiv orizontali, date de relațiile:

$$R_v = \frac{r_v}{r_v \cdot u_v}; \quad R_0 = \frac{r_0}{n_0 \cdot u_0} \qquad (8.3.5)$$

unde:

r_v și r_0 - sunt rezistențele unui singur electrod vertical și orizontal;

n_v și n_0 - numărul de electrozi verticali și orizontali;

U_v și U_0 - coeficienții de utilizare corespunzători numărului de electrozi, verticali și orizontali, ce formează priza.

Relațiile pentru calculul rezistențelor r_v și r_0 sunt date în tabelele II.8.12 și II.8.13, în funcție de tipul electrozilor și poziția de montare în pământ.

Coeficienții de utilizare u_v și u_o sunt dați în tabelul II.8.14 în funcție de tipul prizei (pe contur închis sau contur deschis), numărul de electrozi și distanța dintre doi electrozi consecutivi.

Pentru rezistivitatea solului se iau valorile recomandate în tabelul II.8.15..

Configurația finală a prizei de pământ se stabilește prin încercări modificând succesiv numărul de electrozi verticali și distanța dintre aceștia, până se obține rezistența prizei, R_{pp}, mai mică decât valoarea admisibilă (10 Ω pentru instalația de paratrăsnet sau 1 Ω pentru priza comună - instalație de paratrăsnet și instalația de protecție a omului).

În cazurile în care solul are o rezistivitate mare și nu se poate realiza o priză de pământ cu rezistență corespunzătoare pe perimetrul pe care construcția îl are la dispoziție, electrozii verticali sunt montați în bentonită sau pământ cu cărbune activ (fig. II.8.18)

În astfel de situații numărul de electrozi se reduce foarte mult (1...3, de regulă), numărul lor rezultând din măsurări.

Tabelul II.8.9. Distanțe minime între elementele componente ale prizei de pământ și alte elemente metalice din sol

Elemente metalice ale altor instalații	Distanțe minime [m]	
	Rezistivitatea solului ≤ 500 Ω m	Rezistivitatea solului > 500 Ω m
Rețele de înaltă tensiune	0,5	0,5
Rețele de joasă tensiune	2	5
Prize de pământ ale instalațiilor electrice în cazul în care nu sunt comune	10	20
Conducte metalice de gaz, apă, comunicații	5	5

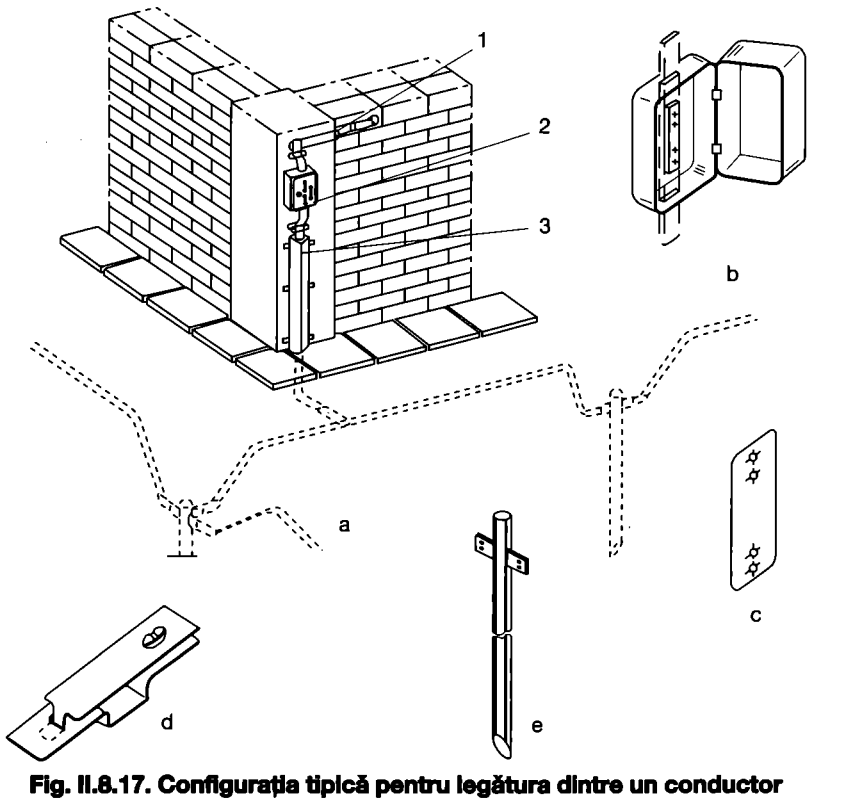


Fig. II.8.17. Configurația tipică pentru legătura dintre un conductor de coborâre și priza de pământ artificială:
a - dispoziție generală; b - cutia pentru piesa de separație; c - eclisa piesei de separație; d - suport de prindere a conductorului de coborâre pe zid; e - electrod vertical;
1 - conductor de coborâre montat pe zid; 2 - piesă de separație montată în cutie pe zid; 3 - conductor de legare la priza de pământ, protejat (în țeavă sau profil metalic).

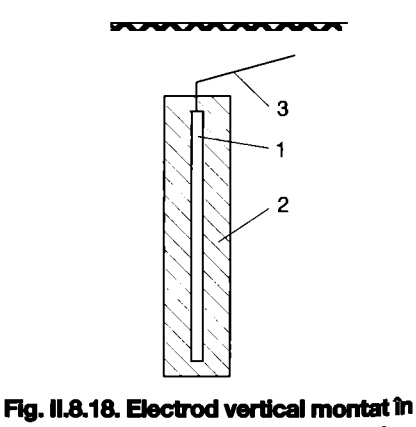


Fig. II.8.18. Electrod vertical montat în strat de betonită sau cărbune activ:
1 - electrod din OL-Zn 21/2; 2 - strat de bentonită sau cărbune activ;
3 - conductor de legătură.

8.3.4. Legături echipotențiale

Legăturile de echipotențializare se execută între conductoarele de coborâre și masele metalice sau elementele conductoare din vecinătatea lor la nivelul solului sau în subsol și în toate punctele în care distanța d (fig. II.8.13) este mai mare ca distanța de protecție S, dată de relația 8.3.3. Se folosesc conductoare de legătură având materialul și secțiunea similare celor pentru conductoarele de coborâre. Lungimea lor trebuie să fie cât mai mică. În cazul coloanelor de gaze situate în aval de un manșon izolant, distanța de protecție S este de minim 3 m.

Legătura de echipotențializare, în cazul antenelor și al suportului pentru instalația electrică, trebuie să se facă prin eclator, amplasat pe traseul în care conductorul de coborâre este cel mai apropiat de antenă sau suport.

Țevile de apă sau gaz care au părți izolante în volumul de protecție al instalației de paratrăsnet se scurtcircuitează prin eclator.

8.3.5. Legături de echipotențializare și bara de egalizare și bara de egalizare a potențialelor (BEP)

Normativul I-07-2009 prevede executarea de legături de echipotențializare în interiorul clădirii, pentru reducerea riscurilor de incendii, explozie și șoc electric pentru persoane.

Legătura pentru egalizarea potențialelor trebuie realizată în părțile exterioare - IEPT (captare, coborâri, priză de pământ) - și elementele metalice în legătură cu pământul ce se găsesc în interiorul construcției de protejat sau în pereții ei: conducte de apă, de încălzire, de gaze, de stins incendiu, de ventilare-climatizare, șine de ascensoare, echipamente metalice, armătura construcției, echipamente ale instalațiilor electrice și de telecomunicații etc.

Elementele metalice de mai sus se leagă între ele și bara de egalizare a potențialelor (BEP), care se leagă la pământ (fig. II.8.19).

Legarea elementelor metalice la BEP (fig. II.8.19) se face prin:
- conductoare de egalizare a potențialelor: conducte de apă, de încălzire, de ventilare - climatizare, mase metalice etc.;
- descărcătoare sau eclatoare: instalațiile electrice de 400/230 V, de curenți slabi, pentru tehnica informației pentru conductele de gaz.

Bara de egalizare a potențialelor (BEP se execută din cupru cu secțiunea minimă de 75 mm^2 sau alt material cu o secțiune echivalentă.

Legăturile de echipotențializare trebuie să aibă secțiunea minimă în funcție de materialul utilizat, de: 16 mm^2 pentru cupru, 25 mm^2 pentru aluminiu și 50 mm^2 pentru oțel.

8.3.6. Instalații speciale de protecție împotriva trăsnetelor

Normativul I - 07 - 2009 prevede astfel de instalații pentru:
- construcții din categoria BE3a și BE3b de pericol de incendiu conform normativului I - 7 - 2009;
- instalații tehnologice exterioare supraterane pentru depozitarea fluidelor combustibile;
- coșuri independente sau cuplate la clădiri;
- construcții în formă de turn;
- spitale și clinici;
- clădiri cu acoperișul din material combustibil, de gradul IV și V de rezistență la foc;
- depozite deschise de furaje fibroase de paie și de alte materiale similare;
- amenajări pentru sport, cu public;
- poduri;
- instalații mobile de ridicat și trasportat de pe șantiere;
- construcții cu instalații având componente sensibile la supratensiuni - instalații AMC cu circuite electrice pentru prelucrarea sau transformarea de informații.

8.3.7. Verificări ale instalațiilor de paratrăsnet

Verificarea instalațiilor de paratrăsnet se fac:
- inițial la punerea în funcțiune;
- periodic, în exploatare.

Verificările inițiale cuprind:
- verificarea proiectului, de către persoane fizice atestate de către Ministerul Lucrărilor Publice, privind cerințele de calitate impuse de L10/1995;
- verificări la recepția lucrării care cuprind:
  * natura, secțiunile și dimensiunile dispozitivelor de captare;
  * natura și secțiunea materialelor utilizate pentru conductoarele de captare;
  * traseele, amplasamentul și continuitatea electrică a conductoarelor de coborâre;
  * fixarea mecanică a elementelor instalației;
  * respectarea distanțelor de protecție și/sau a legăturilor de echipotențializare;
  * rezistența prizei de pământ;
  * interconectarea cu alte prize de pământ;
  * documentele de agrementare a echipamentelor noi (dispozitivul de amorsare, eclatoare, descărcătoare);
  * dacă instalația de paratrăsnet este echipată cu tijă cu dispozitiv de amorsare se verifică ca acesta să

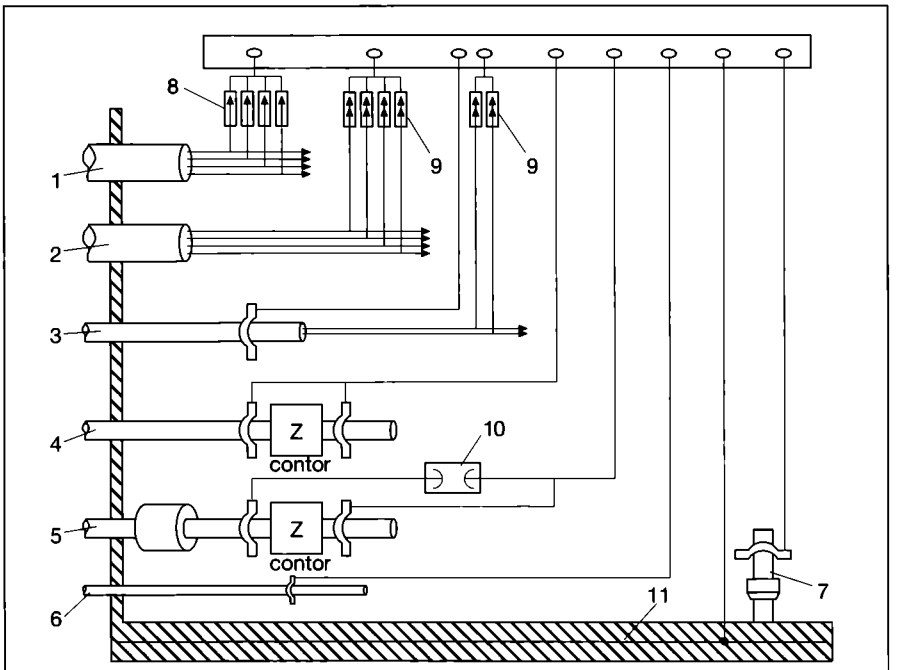


Fig. II.8.19. Legături ce se execută la bara de egalizare a potențialelor (EEP): 1 - instalații electrice de 220/380 V; 2 - instalații de curenți slabi; 3 - instalații pentru tehnica informației; 4 - conductă de apă; 5 - conductă de gaze; 6 - conductă de încălzire; 7 - conductă de canalizare; 8 - dispozitiv de protecție la supratensiuni pentru instalații electrice; 9 - idem pentru instalații de telecomunicații; 10 - eclator cu gaz sau aer; 11 - priză de fundație.

fie cu cel puțin 2 m deasupra zonei de protejat.

Verificările periodice se fac în funcție de nivelul de protecție astfel:

Nivel de protecție	Periodicitate [ani]	
	normală	severă
Întărit (I)	2	1
Întărit (II)	3	2
Normal (III)	3	2
Normal (IV)	4	3

Verificarea cu periodicitate severă se recomandă în zonele cu atmosferă corosivă: de-a lungul litoralului, în apropierea combinatelor chimice, metalurgice, siderurgice etc.

Verificarea mai este obligatorie după:
- fiecare modificare sau reparare a construcției;
- seism;
- explozie în apropierea construcției;
- o lovitură de trăsnet pe instalație.

Pentru a se cunoaște exact dacă construcția a fost lovită de trăsnet se recomandă montarea, pe una din coborâri, a unui contor de înregistrare a loviturilor de trăsnet.

8.4. Protecția împotriva supratensiunilor și supracurenților tranzitorii

Măsurile primare împotriva undelor de descărcare, datorate trăsnetelor, sunt:
- ecranarea;
- legarea conductoarelor la pământ;
- echipotențializarea;
- instalarea separată a liniilor care pot interfera una cu cealaltă.

De cele mai multe ori, în practică, aceste condiții nu sunt îndeplinite integral. Pentru siguranța echipamentelor, a instalațiilor din clădire și chiar a clădirii este necesar să se instaleze descărcătoare. În acest fel tensiunile și curenții pot fi reduși până la valori nepericuloase chiar și pentru sistemele electrice.

Descărcătoarele trebuie prevăzute încă din faza de proiectare pentru a minimiza costurile finale.

Protejarea liniilor de alimentare și a echipamentelor electrice se face în trei nivele de protecție:
- nivelul 1 se realizează cu descărcătoare de curenți atmosferici, ce se amplasează la intrarea în clădire: tabloul general sau tabloul cu contorul electric;
- nivelul 2 se realizează cu descărcătoare pentru undele de descărcare, ce se amplasează la nivelul tablourilor secundare;
- nivelul 3 ce se realizează cu descărcătoare pentru protecție individuală amplasate înaintea echipamentului ce trebuie protejat.

Cele trei tipuri de descărcătoare diferă prin capacitatea de descărcare și nivelul de protecție. În tabelul II.8.10. este prezentată clasificarea acestora.

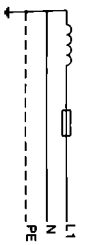
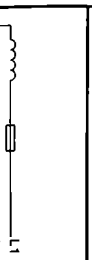
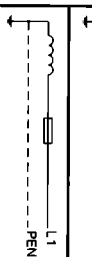
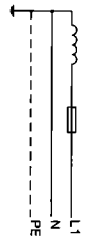
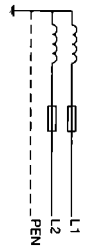
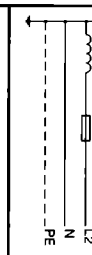
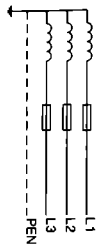
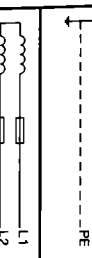
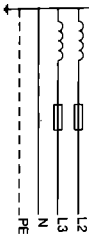
În tabelul II.8.11. se indică un ghid de selecție a descărcătoarelor în funcție de protecția ce trebuie realizată și caracteristicile de montare.

Tab. II.8.10. Clasificarea descărcătoarelor

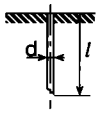
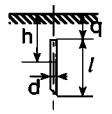
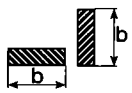
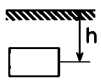
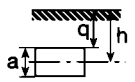
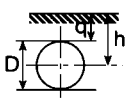
Denumire	Descărcător de curenți atmosferici	Descărcătoare combinate	Descărcătoare de fronturi de undă	Protecția individuală a echipamentului
Clasificare în				
VDE...	B	B + C	C	D
En...	Tip 1	Tip 1 + Tip 2	Tip 2	Tip 3
IEC...	Clasa I	Clasa I + Clasa a II-a	Clasa a II-a	Clasa a III-a
Identificare	T1	T1 + T2	T2	T3
Punct tipic de instalare	Tabloul principal	Tabloul princpal	Subdistribuție	La echipament
Dispozitiv de protecție	FLASHTRAB*)	FLASHTRAB compact	VALVETRAB*) compact	De exemplu MAINTRAB*)

*) Echipamente comercializate de firma PHOENIX - CONTACT

Tabelul II.8.11. Ghid de selecție a descărcătoarelor

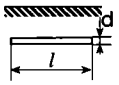
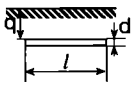
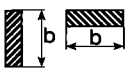
Individual la echipament				Sistem cu o fază		Sistem cu 2 faze		Sistem cu 3 faze				Date de referință
												Tip rețea
Sistem cu o fază la terminalele echipamentului		Sistem cu 3 faze la terminalele echipamentului N și PE separate		Sistem cu o fază PEN comun	Sistem cu o fază N și PE separate	Sistem cu 2 faze PEN comun	Sistem cu 2 faze N și PE separate	Sistem cu 3 faze PEN comun		Sistem cu 3 faze N și PE separate		Descriere
				✓	✓	✓	✓		✓		✓	Descărcător de curenți atmosferici
				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Descărcător de fronturi de undă
			✓									Protecția individuală a echipamentelor
					✓	✓	✓		✓	✓		Lățime de 12 mm per canal
								✓			✓	Lățime de 17,5 mm per canal
			✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		Debroșabil și testabil
			✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		Afișare stare + indicare la distanță
			✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		Montare pe șină
	✓											Adaptor
	✓											Soclu multi-poziție
✓												Intrare în doză
BT-SKT 230/A	CBT-SCHUKO	MNT-1 D	PT 2-PE/S-230AC/FM	MT-4PE-230 AC	FLT-CP-1C-350	VAL-CP-1S-350	FLT-CP-1S-350	VAL-CP-2C-350	FLT-CP-2C-350	VAL-CP-2S-350	FLT-CP-2S-350	Dispozitiv de protecție
2859343	2857280	2882200	2858357	2762100	2859741	2859563	2859738	2859589	2859770	2859505	2859767	Cod comandă
								2859055	2859547	2859181	2859725	
										2859521	2859712	

Tabelul II.8.12. Relațiile de calcul pentru rezistența unui electrod vertical, r_v

Nr. crt.	Electrodul prizei simple (singulare)		Formula de calcul
1.	Țeavă cu partea superioară la nivelul suprafeței solului condiția $d \le l$		$r_{p0} = 0,366 \frac{\rho}{l} \log \frac{4l}{d}$ $r_{p0} = 0,9 \frac{\rho^*}{l}$
2.	Țeavă îngropată la adâncimea $h = q + (l/2)$		$r_{ph} = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\log \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \log \frac{4h+l}{4h-l} \right)$
3.	Bară cu secțiunea dreptunghiulară		$r_{p0} = 0,366 \frac{\rho}{l} \cdot \log \frac{8l}{b}$ $r_{ph} = 0,366 \left(\log \frac{4l}{b} + \frac{1}{2} \log \frac{4h+l}{4h-l} \right)$
4.	Placă îngropată la adâncimea h măsurată de la centrul plăcii până la suprafața solului		$r_{ph} = \frac{\rho}{8\sqrt{\frac{A}{\pi}}} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arcsin \sqrt{\frac{\frac{A}{\pi}}{4h^2 + \frac{A}{\pi}}} \right)$
5.	Placă pătrată îngropată la adâncime $h = q + (a/2)$		$r_{ph} = 0,222 \frac{\rho}{a} \left[1 + 0,637 \arcsin \sqrt{\frac{1}{1+\pi \left(1 + \frac{2q}{a} \right)^2}} \right]$ $r_{ph} = 0,25 \frac{\rho^{**}}{a}$
6.	Placă circulară îngropată la adâncim $h = q + (D/2)$		$r_{ph} = 0,25 \frac{\rho}{D} \left[1 + 0,637 \arcsin \sqrt{\frac{1}{1+\left(\frac{4h}{D} \right)^2}} \right]$

unde:
ql - este rezistența la calcul a solului [ohm·cm]; l este lungimea electrodului [cm];
d - diametrul exterior al electrodului [cm];
b - lățimea barei [cm];
q - distanța de la partea superioară a electrodului până la suprafața solului [cm];
A - suprafața plăcii [cm];
a - latura plăcii pătrate [cm];
D - diametrul plăcii [cm];
r_{po} - rezistența de dispersie a prizei simple cu partea superioară la suprafața solului;
r_{ph} - rezistența la dispersie a prizei simple cu partea superioară la adâncimea q.
*) Formulă simplificată cu aproximație acceptabilă pentru l = 1 - 6 m.
**) Formulă simplificată cu aproximație acceptabilă.

Tabelul II.8.13. Relațiile de calcul pentru rezistența unui electrod orizontal, r_o.

Nr. crt.	Electrodul prizei simple (singulare)	Formula de calcul
1.	Țeavă așezată orizontal la nivelul suprafeței solului 	$r_{po} = 0,732 \frac{\rho}{l} \log \frac{2l}{d}$
2.	Țeavă îngropată orizontal la adâncimea q [cm] 	$r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \log \frac{l^2}{dq}$ $r_{pq} = 2 \frac{\rho^*}{l}$
3.	Bară (oțel lat) cu secțiune dreptunghiulară - la suprafață - la adâncime 	$r_{po} = 0,732 \frac{\rho}{l} \log \frac{4l^2}{dq}$ $r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \log \frac{2 \cdot l^2}{bq}$
4.	Electrod inelar cu secțiune circulară așezat orizontal la nivelul suprafeței solului	$r_{po} = 0,732 \frac{\rho}{l} \log \frac{8l}{d}$
5.	Electrod inelar cu secțiune circulară îngropat orizontal la adâncimea q	$r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \log \frac{4 \cdot l^2}{dq}$
6.	Electrod inelar cu secțiune dreptunghiulară - la suprafață: - la adâncime:	$r_{po} = 0,732 \frac{\rho}{l} \log \frac{16l}{b}$ $r_{pq} = 0,366 \frac{\rho}{l} \log \frac{8 \cdot b^2}{bq}$
7.	Placă așezată pe suprafața solului	$r_{po} = 0,44 \frac{\rho}{\sqrt{A}}$
8.	Placă circulară așezată pe suprafața solului	$r_{po} = \frac{\rho}{2D}$
9.	Electrod semisferic îngropat pe suprafața circulară la nivelul suprafeței pământului	$r_{po} = \frac{\rho}{\pi D}$

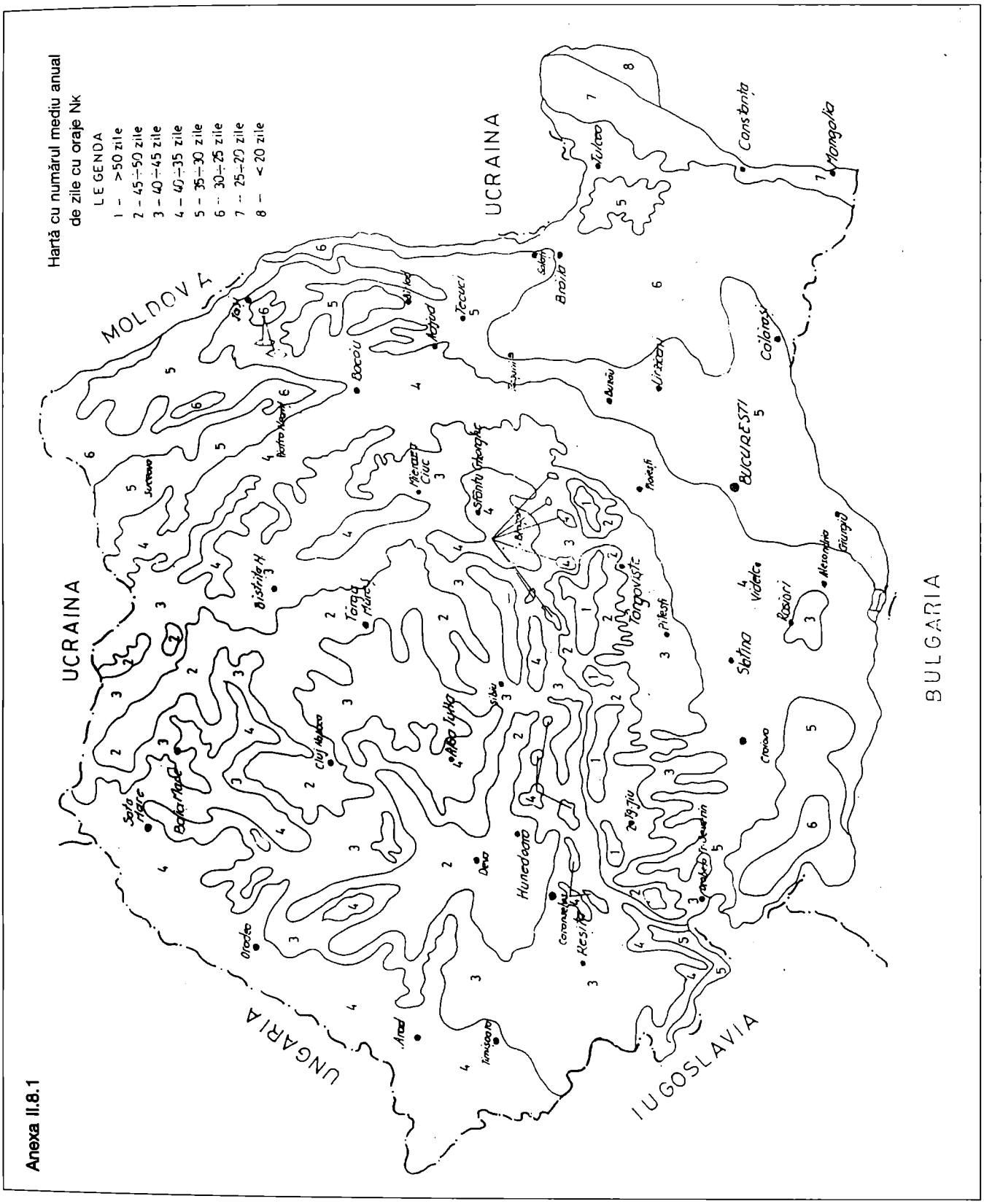
unde:
r_{po} - rezistența de dispersie a prizei simple la suprafața solului;
r_{pq} - rezistența de dispersie a prizei simple la adâncime;
ρ - rezistivitatea de calcul a solului [ohm·cm];
b - lățimea barei [cm];
l - lungimea electrodului [cm];
A - suprafața plăcii [cm^2];
D - diametrul plăcii [cm];
q - adâncimea de îngropare a prizei orizontale [cm];
* - formula simplificată cu aproximație acceptabilă pentru $l = 10 .... 25$ m și $d \approx 16$ mm.

Tabelul II.8.14. Coeficienții de utilizare u_v și u_o pentru prize multiple.

Nr. de electrozi	Distanța *(e)* dintre electrozii verticali în raport cu lungimea *(l)* a electrozilor	Coeficientul de utilizare			
		Electrozii verticali așezați liniar		Electrozii verticali amplasați pe un contur (circuit închis)	
		Priză verticală u_1	Priză orizontală u_2	Priză verticală u_1	Priză orizontală u_2
2	$e = l$	0,85	0,80	-	-
3		0,80	0,80	0,75	0,50
4		0,75	0,77	0,65	0,45
5		0,70	0,75	0,62	0,42
6		0,65	0,60	0,60	0,40
10		0,60	0,60	0,55	0,33
20		0,50	0,20	0,50	0,25
40		-	0,20	0,40	0,20
60		-	-	0,38	0,20
100		-	-	0,35	0,19
2	$e = 2l$	0,90	0,90	-	-
3		0,85	0,90	0,80	0,60
4		0,82	0,88	0,75	0,55
5		0,80	0,85	0,72	0,52
6		0,78	0,80	0,70	0,50
10		0,75	0,75	0,66	0,44
20		0,70	0,56	0,61	0,30
40		-	0,40	0,55	0,29
60		-	-	0,52	0,27
100		-	-	0,50	0,24
2	$e = 3l$	0,95	0,95	-	-
3		0,90	0,90	0,90	0,75
4		0,88	0,85	0,85	0,70
5		0,85	0,82	0,82	0,68
6		0,82	0,80	0,80	0,65
10		0,80	0,75	0,75	0,56
20		0,75	0,68	0,70	0,45
40		-	0,54	0,65	0,39
60		-	-	0,62	0,36
100		-	-	0,60	0,33

Tabelul II.8.15. Rezistivitatea diferitelor soluri și ape

Nr. crt.	Natura solului	Rezistivitatea ρ_a [Ωm]	
		Domeniu de variație în funcție de umiditate și conținutul de săruri	Valori recomandate pentru calculele preliminare
1	Soluție de sare și ape acide	0,01	0,01
2	Apă de mare	1...5	3
3	Apă de pârâu și râu	10...50	20
4	Apă de iaz sau izvor	40...50	40
5	Apă subterană	20...70	50
6	Apă de munte (pârâuri, râuri, lacuri)	100...1200	700
7	Pământ, humă, turbă (foarte umede)	15...20	20
8	Cernoziom	10...70	50
9	Humă vânătă cu conținut de sulfură de fier	10...20	10
10	Pământ arabil	40..60	50
11	Pământ argilos, argilă	40...150	80
12	Pământ cu pietriș	100...500	200
13	Loess, pământ de pădure	100...300	200
14	Argilă cu nisip	100...300	200
15	Pământ nisipos	150...400	300
16	Nisip foarte umed	100...500	400
17	Balast cu pământ	500...6000	1000
18	Nisip, nisip cu pietriș	100...2000	1000
19	Roci, bazalturi	10000	10000
20	Stâncă compactă	100000	100000


Hartă cu numărul mediu anual
de zile cu oraje Nk
LEGENDA
1 - >50 zile
2 - 45÷50 zile
3 - 40÷45 zile
4 - 40÷35 zile
5 - 35÷30 zile
6 - 30÷25 zile
7 - 25÷20 zile
8 - < 20 zile
UCRAINA
MOLDOVA
UCRAINA
UNGARIA
IUGOSLAVIA
BULGARIA
BUCURESTI
Constanța
Mangalia
Tulcea
Brăila
Tecuci
Adjud
Bacău
Bistrița H.
Târgu Mureș
Alba Iulia
Sibiu
Hunedoara
Deva
Resita
Arad
Timișoara
Oradea
Sata Mare
Baia Mare
Cluj Napoca
Târgoviște
Pitești
Slatina
Videle
Rasiori
Alexandria
Giurgiu
Craiova
Tg. Jiu
Drobeta Tr. Severin
Mierea Ciuc
Sfântu Gheorghe
Suceava
Piatra Neamț
Iași
Bârlad
Buzău
Urziceni
Călărași
Ploiești

Anexa II.8.1

II. Instalații electrice

Capitolul 9

Instalații pentru îmbunătățirea factorului de putere la consumatori

9.1. Probleme generale

Transportul energiei active este însoțit invariabil de transportul unei energii reactive, a cărei mărime este determinată de valoarea factorului de putere.

Puterea aparentă S poate fi reprezentată:

- grafic, în sistemul de coordonate complexe prezentat în fig. II.9.1;
- trigonometric:

$$\underline{S} = UI\cos\varphi \pm UI\sin\varphi = P \pm jQ \quad (9.1.1)$$

- exponențial:

$$\underline{S} = UIe^{j\varphi} \left(\text{sau } \underline{S}^* = UIe^{-j\varphi}\right) \quad (9.1.2)$$

- algebric, prin modulul și argumentul său:

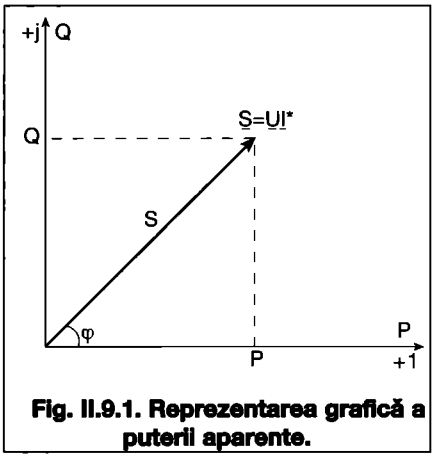


Fig. II.9.1. Reprezentarea grafică a puterii aparente.

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (9.1.3)$$

$$\varphi = arctg\frac{Q}{P} \quad (9.1.4)$$

În relațiile de mai sus s-au realizat următoarele notații:

φ - unghiul de defazaj dintre tensiune și curent;
S - putere aparentă;
P - puterea activă;
Q - puterea reactivă.

Observând fig. II.9.1 se poate scrie următoarele relații:

$$P = S\cos\varphi \quad (9.1.5)$$
$$Q = S\sin\varphi \quad (9.1.6)$$
$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (9.1.7)$$
$$I_a = I\cos\varphi \quad (9.1.8)$$
$$I_r = I\sin\varphi \quad (9.1.9)$$

unde:

I - este curent aparent (aferent lui S);
I_a - curentul activ (aferent lui P);
I_r - curentul reactiv (aferent lui Q).

În fig. II.9.1, convențional, sensul pozitiv al axei imaginare corespunde unei puteri reactive inductive absorbite, respectiv, unui curent decalat în urma tensiunii, iar sensul negativ al axei imaginare corespunde unei puteri reactive capacitive absorbite, respectiv, unui curent decalat în avans față de tensiune.

În instalațiile sistemelor energetice reactanțele inductive (X_L) sunt mult mai mari decât reactanțele capacitive (X_C), curentul este decalat în urma tensiunii, puterea reactivă are sensul pozitiv al axei imaginare, fiind inductivă, iar factorul de putere este inductiv. Doar în cazuri speciale de „supracompensare", în rețelele de distribuție, situația se poate prezenta, local, invers.

Din cauza indicată mai sus, în limbaj curent, sfera noțiunii de energie reactivă este restrânsă la cea a noțiunii de energie reactivă inductivă.

Factorul de putere într-un circuit electric de curent alternativ este:

$$K = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (9.1.10)$$

iar în regim sinusoidal monofazat sau trifazat simetric acesta este:

$$K = \frac{P}{S} = \cos\varphi \quad (9.1.11)$$

Motoarele asincrone formează principalul consumator de energie reactivă inductivă (cca. 70% din total), în ordine urmând transformatoarele (cca. 20% din total) și liniile electrice aeriene (cca. 10% din total). În tabelul II.9.1. se dau valorile factorului de putere al receptoarelor care intervin, în mod curent, în instalațiile electrice.

Generatoarele de energie reactivă inductivă cele mai răspândite sunt condensatoarele statice, mașinile sincrone și liniile electrice în cablu.

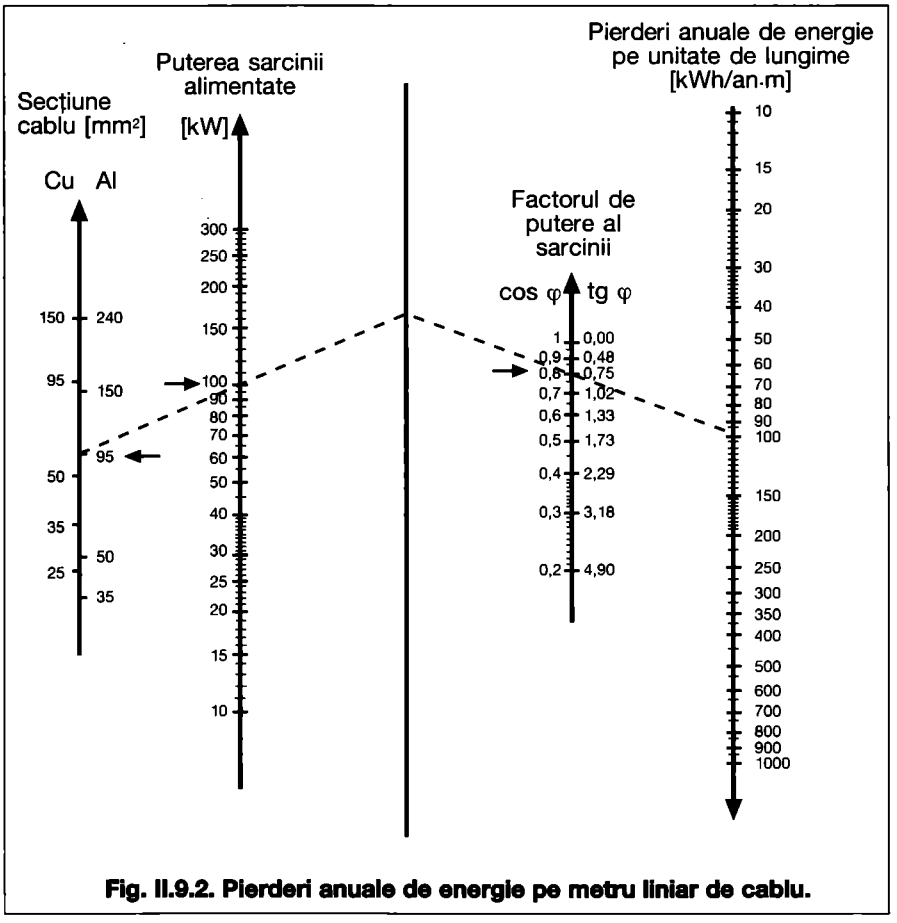


Fig. II.9.2. Pierderi anuale de energie pe metru liniar de cablu.

9.2. Influențele negative determinate de micșorarea factorului de putere

În instalațiile electrice, micșorarea factorului de putere determină o serie de influențe negative cum ar fi:

- necesitatea supradimensionării instalațiilor de producere, transport și distribuție;
- creșterea pierderilor de putere;
- creșterea pierderilor de tensiune;
- scăderea capacității de încărcare cu putere activă a instalațiilor;
- necesitatea utilizării unor întreruptoare cu o putere de rupere mărită.

• Supradimensionarea instalațiilor de producere, transport și distribuție

Puterea activă, respectiv curentul, în curent alternativ trifazat sunt definite de relațiile:

$$P = \sqrt{3}U_n I\cos\varphi \quad (9.2.1)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U_n\cos\varphi} \quad (9.2.2)$$

Se poate observa că la puterea activă P, constantă, la micșorarea factorului de putere - cos φ - se produce o creștere a curentului, ceea ce duce la necesitatea supradimensionării instalațiilor.

Reducerea capacității de transport și supradimensionarea cablurilor datorită

scăderii factorului de putere se poate observa în tabelul II.9.2.

• Creșterea pierderilor de putere

Pierderile de putere în curent alternativ trifazat sunt date de relațiile:

$$\Delta p = \frac{rP^2}{U^2 \cos^2 \varphi} = \frac{r}{U^2}\left(P^2 + Q^2\right) \quad (9.2.3)$$

Prin scăderea factorului de putere pierderile de putere cresc, cu efecte negative în bilanțul energetic al sistemului.

În tabelul II.9.3 pot fi urmărite pierderile anuale de energie datorate variației factorului de putere pentru un cablu din aluminiu cu secțiunea de 95 mm² și lungimea de 100 m.

Cu nomograma din fig. II.9.2 se poate determina pierderea anuală de energie pe metrul liniar de cablu în funcție de modificarea factorului de putere.

• Creșterea pierderilor de tensiune

Pierderile de tensiune sunt date de relația:

$$\Delta U = \frac{rP + xQ}{U} \quad (9.2.4)$$

Analizând această relație se poate observa că o creștere a puterii reactive determină creșterea pierderii de tensiune, ceea ce va impune o supradimensionare a instalațiilor de transport. În același timp, tensiunea scăzută la bornele receptoarelor are efecte în funcționarea acestora astfel:

- receptoarele de lumină vor avea un flux luminos mai mic; aceasta va conduce la micșorarea iluminării pe planul de lucru și inconfort pentru cei din încăpere;
- receptoarele de forță vor intra în suprasarcină; puterea mecanică fiind constantă (este puterea cerută la arbore) prin scăderea tensiunii va crește curentul.

• Scăderea capacității de încărcare cu putere activă

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2} \quad (9.2.5)$$

La o putere aparentă S constantă, mărirea puterii reactive Q determină scăderea capacității de încărcare cu putere activă P a instalațiilor.

• Necesitatea utilizării unor întreruptoare cu putere de rupere mărită

În cazul apariției unui scurtcircuit într-o rețea electrică, cu cât factorul de putere este mai mic cu atât curentul permanent de scurtcircuit I_∞ are o valoare mai mare, iar această valoare se atinge după un interval de timp mai mare. Aceste două elemente determină mărirea puterii de rupere a întreruptoarelor, pentru a face față la valorile ridicate ale curentului de scurtcircuit în momentul întreruperii circuitului în care a apărut defecțiunea.

9.3. Mijloace pentru creșterea factorului de putere

Pentru ameliorarea factorului de putere se folosesc mijloace naturale și mijloace specializate (artificiale).

Mijloacele naturale pentru ameliorarea factorului de putere constau, în general, din măsuri tehnico-organizatorice în cadrul exploatării instalațiilor și necesită cheltuieli reduse.

În instalațiile electrice de joasă tensi-

Tabelul II.9.1. Valorile factorului de putere al receptoarelor care intervin în mod curent în instalațiile electrice.

Receptor		cos φ	tg φ	Observații
Motor sincron	0%	0,17	5,8	
sarcina în procente	25%	0,55	1,52	
din sarcina	50%	0,73	0,94	
nominală	75%	0,8	0,75	
	100%	0,85	0,62	
Lămpi cu incandescență		1	0	Lămpile fluorescente și cele cu descărcare sunt, în general, prevăzute cu îmbunătățire locală a factorului de putere. Factorul de putere este cos φ = 0,95 (sau indicat de fabricant).
Lămpi fluorescente		0,5	1,73	
Lămpi cu descărcare		0,4...0,6	2,29...1,33	
Cuptoare cu rezistență		1	0	În afara cuptoarelor reglate cu graduatoare cu tiristoare
Cuptoare cu încălzire prin inducție electromagnetică		0,85	0,62	Se impune ameliorarea cu condensatoare prevăzută de constructor
Cuptoare cu încălzire dielectrică		0,85	0,62	idem
Aparate de sudare cu rezistențe		0,8...0,9	0,75...0,48	Valorile sunt valabile pentru cazul când constructorul nu a prevăzut ameliorarea factorului de putere.
Aparate de sudare cu arc		0,5	1,73	
Transformatoare - redresoare pentru sudarea cu arc		0,7...0,8	1,02...0,75	
Cuptoare cu arc		0,8	0,75	

Tabelul II.9.2. Supradimensionarea cablurilor de alimentare a receptoarelor cu factor de putere scăzut

cos φ	tg φ	Puterea activă maximă transportată, [kW], de un cablu de JT din aluminiu, cu secțiunea:				Reducerea capacității de transport [%]
		50 mm²	95 mm²	150 mm²	240 mm²	
1,00	0	106	162	212	284	0
0,90	0,48	96	146	190	255	-10
0,80	0,75	85	130	170	227	-20
0,70	1,02	75	113	149	199	-30
0,60	1,33	64	97	126	170	-40
0,50	1,73	53	81	106	142	-50

Tabelul II.9.3. Pierderile de energie într-un cablu cu secțiunea de 95 mm², din aluminiu, de 100 m lungime, care alimentează în curent trifazat, 380/220V, o sarcină de 100 kW, timp de 2500 ore.

cos φ	tg φ	Pierderile anuale de energie [kWh]	Pierderile raportate la energia activă utilă [%]	Variația pierderilor [%]
1,00	0	6250	2,5	0
0,90	0,48	7700	3,1	+23
0,80	0,75	9750	3,9	+56
0,70	1,02	12750	5,1	+104
0,60	1,33	17350	6,9	+177
0,50	1,73	25000	10,0	+300

une principalele mijloace de ameliorare a factorului de putere, care pot fi luate în considerare, sunt:

- înlocuirea motoarelor asincrone și a transformatoarelor supradimensionate;
- utilizarea comutatoarelor stea – triunghi la motoarele asincrone de joasă tensiune care sunt încărcate sistematic sub 40% din sarcina nominală, pentru funcționarea de durată a motoarelor în conexiune stea;
- limitarea mersului în gol al motoarelor asincrone, al transformatoarelor de sudare și al altor transformatoare speciale cu regim de funcționare intermitentă, dacă durata dintre operații depășește 10 secunde, atunci când din punct de vedere tehnologic acest lucru este posibil și nu apar implicații tehnice. Aplicarea acestor mijloace va fi stabilită în urma efectuării unor calcule de eficiență tehnico–economică, prin metoda cheltuielilor totale actualizate.

Există și o serie de mijloace naturale a căror aplicare este indicată fără a li se verifica eficiența economică:

- funcționarea în paralel a transformatoarelor de putere după graficul de pierderi minime, ori de câte ori condițiile de exploatare permit acest lucru (se va verifica și stabilitatea la scurtcircuit);
- exploatarea motoarelor sincrone la limita economică a capacității de producere a puterii reactive;
- modificarea conexiunilor din triunghi în stea la motoarele care funcționează permanent la o sarcină redusă sub 40% din sarcina nominală;
- verificarea corectei execuții a reparațiilor la motoarele electrice.

Mijloacele specializate (artificiale) pentru ameliorarea factorului de putere, cele mai utilizate, sunt:

- condensatoarele statice;
- mașinile sincrone (compensatoare, motoare supraexcitate);
- compensatoare de fază.

Pot fi amintite și alte mijloace specializate cum ar fi sincronizarea motoarelor asincrone sau utilizarea motoarelor asincrone compensate, însă acestea sunt foarte puțin folosite în practică.

9.3.1. Creșterea factorului de putere prin mijloace naturale

Înlocuirea motoarelor asincrone supradimensionate

Un coeficient de încărcare redus al unui motor determină funcționarea acestuia cu un randament și un factor de putere necorespunzătoare.

În tabelele II.9.4 și II.9.5 au fost indicate valorile randamentului și ale factorului de putere pentru diverse motoare asincrone și pentru încărcări de 25, 50, 75, 100, 125% din sarcina nominală.

Puterea reactivă consumată de un motor asincron se compune din puterea reactivă de mers în gol corespunzătoare curentului de magnetizare al motorului (care este, practic, independentă de sarcină) și din puterea reactivă corespunzătoare câmpurilor magnetice de scăpări (proporțională cu pătratul sarcinii).

Componenta de mers în gol, pentru un coeficient mediu de încărcare egal sau mai mic de 0,5 reprezintă 85% – 90% din puterea totală absorbită de motor. Se poate concluziona că puterea reactivă absorbită de un motor sincron este, practic, constantă și nu variază în funcție de sarcina acestuia.

Factorul de putere al motoarelor variază odată cu sarcina (tabelul II.9.5), micșorându-se pe măsura reducerii coeficientului de încărcare a acestuia.

În practică, pentru eliminarea acestor efecte negative, motoarele asincrone supradimensionate se înlocuiesc cu altele de puteri mai mici.

Înlocuirea motoarelor asincrone cu o încărcare medie cuprinsă între 45 și 70% din puterea nominală cu motoare de putere mai mică se va face pe baza rezultatelor unui calcul de eficiență tehnico-economică. Această măsură devine avantajoasă numai dacă reducerea pierderilor active de mers în gol ale motorului și reducerea pierderilor de putere activă în rețea, datorită scăderii puterii reactive consumate de noul motor, este mai mare decât creșterea pierderilor active în cupru datorită micșorării puterii motorului.

La înlocuirea unui motor se va respecta condiția ca noul motor să nu se încălzească peste limita admisă prin norma de fabricație. În același timp, este necesar ca, la pornire, noul motor să asigure cuplul necesar.

Motoarele asincrone a căror încărcare de durată este sub 45% din puterea lor nominală pot fi înlocuite cu motoare corespunzătoare de puteri mai mici fără a mai fi necesar un calcul de eficiență tehnico-economică, cu condiția ca, la pornire , să fie asigurat cuplul de pornire.

Înlocuirea transformatoarelor slab încărcate

Înlocuirea unui transformator care lu-

Tabelul II.9.4. Randamentul motoarelor asincrone în funcție de coeficientul de încărcare

η [%]	la diverse sarcini din sarcina nominală				η [%]	la diverse sarcini din sarcina nominală			
25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
89	94	96	96	96	77,5	84	86	86	85
88	93	95	95	95	77	83	85	85	84
86	92	94	94	94	76	82	84	84	83
85	91	93	93	93	74	81	83	83	82
84	90	92	92	92	73	80	82	82	81
82	89	91	91	91	72	79	81	81	80
81	87,5	90	90	90	70	78	80	80	78
80	86,5	89	89	89	69	77	79	79	77
79	85,5	88	88	88	68	76	78	78	76
78	85	87	87	86	67	75	77	77	75

Tabelul II.9.5 Factorul de putere al motoarelor asincrone în funcție de coeficientul de încărcare

cos φ [%]	la diverse sarcini din sarcina nominală				cos φ[%]	la diverse sarcini din sarcina nominală			
25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
0,64	0,82	0,88	0,91	0,91	0,45	0,66	0,76	0,81	0,83
0,62	0,80	0,87	0,90	0,90	0,43	0,65	0,75	0,80	0,82
0,60	0,79	0,86	0,89	0,90	0,42	0,63	0,73	0,79	0,81
0,58	0,78	0,85	0,88	0,89	0,41	0,61	0,73	0,78	0,80
0,57	0,77	0,84	0,87	0,88	0,40	0,59	0,72	0,77	0,79
0,55	0,75	0,83	0,86	0,87	0,38	0,58	0,70	0,76	0,78
0,53	0,73	0,82	0,85	0,86	0,36	0,56	0,69	0,75	0,77
0,51	0,72	0,81	0,84	0,86	0,36	0,54	0,67	0,74	0,76
0,50	0,71	0,80	0,83	0,85	0,35	0,52	0,66	0,73	0,75
0,47	0,67	0,78	0,82	0,84	0,34	0,51	0,65	0,72	0,74

crează, în general, subîncărcat, cu un alt transformator de putere mică este eficientă dacă pierderile de energie în transformator, în rețeaua consumatorului și în sistem se micșorează în urma acestei înlocuiri.

Se recomandă înlocuirea transformatoarelor care au o încărcare mai mică de 50% din puterea lor nominală și o durată de funcționare de peste 1500 ore/an. Înlocuirea se va face în urma unui calcul de eficiență tehnico-economică.

Se menționează că înlocuirea transformatoarelor încărcate cu 50% sau mai mult din puterea lor nominală, precum și a celor subîncărcate, indiferent de gradul lor de încărcare, dar care se află sub tensiune un timp de maxim 1500 ore/an, nu este eficientă din punct de vedere economic. În aceste cazuri, costurile inițiale legate de înlocuirea transformatorului vor fi amortizate după un interval de timp mult prea îndelungat (valoarea reducerii pierderilor de energie fiind relativ mică în decursul unui an).

Utilizarea comutatoarelor stea – triunghi la motoarele asincrone care funcționează cu o sarcină mult diferită de cea nominală

Există motoare asincrone al căror regim de funcționare este caracterizat prin perioade scurte de timp în care sarcina este apropiată de cea nominală, restul timpului sarcina având valori sub 40% din cea nominală. Soluția recomandată în aceste cazuri este utilizarea unui comutator stea – triunghi, motorul funcționând, în perioadele în care sarcina este apropiată de cea nominală, în conexiune triunghi, iar, în cel cu sarcină redusă, în conexiune stea. În conexiunea stea, tensiunea aplicată fiecărei faze a bobinajului motorului se micșorează cu raportul $1/\sqrt{3}$, cuplul maxim scăzând la rândul
său în raportul 1/3.

Se recomandă ca funcționarea în conexiune stea să fie menținută numai atât timp cât cuplul maxim cerut este mai mic de 40% din cuplul nominal al motorului, evitându-se prin aceasta supraîncălzirea bobinajului.

Cheltuielile de procurare și montare ale comutatoarelor stea – triunghi sunt relativ mici. Din această cauză, în astfel de situații, nu este necesar un calcul de eficiență tehnico-economică.

Montarea limitatoarelor de mers în gol

În industrie există o serie de echipamente al căror regim de funcționare este caracterizat prin perioade active în care sarcina este apropiată de cea nominală, urmate de perioade de mers în gol. Astfel de situații pot fi întâlnite la mașini unelte, transformatoare de sudare etc.

Puterea reactivă de mers în gol a motoarelor asincrone sau a transformatoarelor reprezintă cea mai mare parte din puterea reactivă totală consumată.

Pentru eliminarea pierderilor de putere activă și pentru reducerea consumului de putere reactivă corespunzătoare regimului de mers în gol al motoarelor sau transformatoarelor se utilizează limitatoare automate care opresc echipamentele în intervalul dintre două operații active.

Folosirea limitatoarelor de mers în gol este oportună pentru motoarele electrice, transformatoarele de sudare etc., la care durata de mers în gol între două perioade active, succesive, este mai mare de 20% din întregul timp de utilizare a echipamentului respectiv. Se va efectua un calcul de eficiență tehnico-economică, pentru a stabili dacă economia de energie activă realizată, anual, prin oprirea echipamentelor pe durata timpilor morți depășește sporul de consum anual datorat numărului majorat de porniri și dacă valoarea acestor economii justifică investițiile pentru montarea limitatoarelor de mers în gol.

Reducerea pierderilor de energie activă, prin montarea de limitatoare de mers în gol, este egală cu diferența dintre energia consumată în perioadele de mers în gol și energia consumată la pornirile suplimentare ale motoarelor.

În cazul în care opririle motorului, sub acțiunea limitatorului de mers în gol corespunzătoare regimului de funcționare în gol a mașinii antrenate, au o durată prea scurtă, economia rezultată din opririle motorului ar putea fi anulată sau chiar întrecută de consumul suplimentar de energie aferent perioadelor de pornire ale acestuia. În vederea eliminării acestui pericol, limitatorul de mers în gol trebuie prevăzut cu un dispozitiv de temporizare astfel reglat încât să nu acționeze la opriri prea scurte.

9.3.2. Creșterea factorului de putere folosind surse specializate de putere reactivă

În scopul creșterii factorului de putere până la o valoare justificată din punct de vedere tehnico-economic, după ce au fost epuizate toate posibilitățile de creștere ale acestuia prin mijloace naturale, se va lua în considerare instalarea unor surse specializate, de putere reactivă (baterii de condensatoare, compensatoare sincrone etc.).

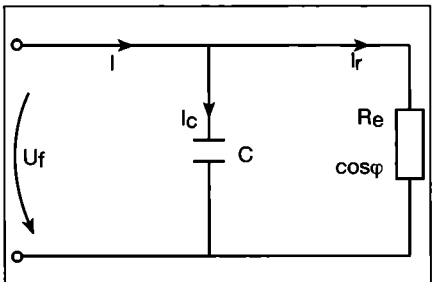


Fig. II.9.3. Principiul îmbunătățirii factorului de putere pentru un receptor monofazat.

Puterea reactivă ce trebuie compensată prin surse specializate se determină astfel încât, prin reglare, să se asigure valoarea factorului de putere neutral, atât la vârful de sarcină al sistemului, cât și la puterea medie zilnică a consumatorului.

Prin factor de putere neutral se înțelege acea valoare a factorului de putere mediu lunar, stabilit prin lege, pe care trebuie să o realizeze consumatorul pentru a fi scutit de plata energiei reactive.

Factorul de putere neutral se stabilește, periodic, prin studii de sistem, pentru o anumită etapă de dezvoltare a sistemului energetic național, ținând seama de condițiile de tarifare a energiei electrice, precum și de costul echipamentelor de compensare.

În prezent, factorul de putere neutral este de 0,92. Consumatorii care realizează un factor de putere mediu lunar sub 0,92 plătesc energia reactivă consumată față de cos φ neutral.

Alegerea tipului de instalații pentru ameliorarea factorului de putere

Generatoarele și motoarele sincrone se pot utiliza în regim de compensator sincron în cazul în care această funcționare este mai avantajoasă, din punct de vedere economic, în raport cu alte tipuri de surse.

Cele mai uzitate mijloace de compensare a puterii reactive sunt bateriile de condensatoare. Bateriile fracționate (cu mai multe trepte de putere) se adoptă în situațiile în care variația sarcinii reactive impune o adaptare a bateriei la curba de sarcină, astfel încât, în regimul de sarcină mică, consumatorul să nu debiteze energie reactivă în sistem. Fracționarea bateriilor mai este impusă de posibilitățile tehnice de rupere a curenților capacitivi de către întreruptoare.

Bateriile fracționate sunt, de regulă, automatizate, având și posibilități de comandă

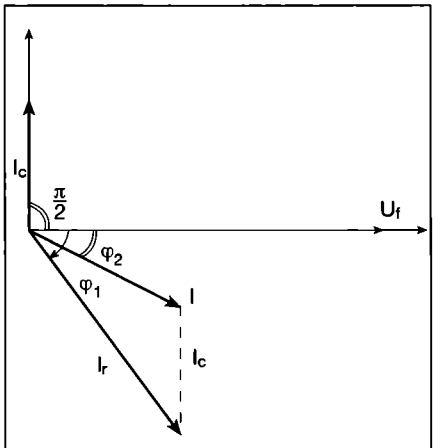


Fig. II.9.4. Diagrama fazorială a curenților din fig. II.9.3.

manuală.

Bateriile automatizate de condensatoare, derivație, de joasă tensiune sunt constituite din următoarele elemente principale:

- modulul de comandă care asigură cuplarea automată a treptelor bateriei la rețea; acesta cuprinde: siguranțe fuzibile, contactoare, blocul de comandă automată și rezistențe de descărcare. Pe partea frontală cuprinde butoane pentru acționarea manuală, lămpi de semnalizare și comutatorul de selecție a comenzii (manual – automat);
- modulul de condensatoare compus din condensatoare montate pe stative tipizate, conectate corespunzător treptelor respective.

Creșterea factorului de putere cu ajutorul bateriilor de condensatoare

Aceasta se realizează prin montarea, în paralel cu receptorul (R_e - din fig. II.9.3), unui condensator C.

Curenții I_r, I_c și I sunt reprezentați în fig. II.9.4.

Receptorul R_e absoarbe de la rețea curentul I_r defazat în urmă față de tensiunea de la borne - egală cu tensiunea rețelei U_f - dacă sunt neglijate pierderile - cu unghiul φ_1. Curentul prin condensatorul C este I_c defazat cu $\pi/2$ în fața tensiunii sursei, U_f. Astfel de la rețea este absorbit un curent I ($I < I_r$) defazat cu φ_2 ($\varphi_2 < \varphi_1$). În urma ameliorării, receptorul funcționează cu un factor de putere $\cos \varphi_2 > \cos \varphi_1$. De exemplu: lămpile fluorescente de joasă tensiune au un factor de putere $\cos \varphi_1 \approx 0{,}55$. Prin montarea unui condensator în paralel, factorul de putere se ameliorează la valoarea $\cos \varphi_2 = 0{,}95$.

Notând cu indicii 1 și 2 puterea activă P, puterea reactivă Q, puterea aparentă S și factorul de putere $\cos \varphi$, înainte și după ameliorare, și neglijând pierderile de putere activă care sunt foarte mici, din fig. II.9.5 rezultă că puterea instalației de ameliorare a factorului de putere este:

$$Q_C = Q_1 - Q_2 = P(tg\,\varphi_1 - tg\,\varphi_2) \quad (9.3.1)$$

Analizând relația 9.3.1 se observă că se poate determina puterea reactivă necesară ridicării factorului de putere de la valoarea $\cos \varphi_1$ la valoarea $\cos \varphi_2$ în funcție de puterea activă absorbită, multiplicând valoarea acesteia cu factorul $k = tg\,\varphi_1 - tg\,\varphi_2$.

În tabelul II.9.6 sunt date valorile acestui factor k pentru diverse valori ale lui $\cos \varphi_1$, respectiv, $\cos \varphi_2$.

În cazul rețelelor monofazate:

$$Q_C = U_f^2\,\omega\,C \quad (9.3.2)$$

$$C = Q_C/U_f^2\,\omega \quad (9.3.3)$$

în care:

Q_C - este puterea condensatorului [VAr];
U_f - tensiunea de fază [V];
C - capacitatea condensatorului [F];
ω - pulsația care este egală cu $2\pi f$ ($\omega = 314$ pentru $f = 50$ Hz).

În cazul rețelelor trifazate ameliorarea se face prin montarea condensatoarelor fie în stea (fig.II.9.6), fie în triunghi (fig. II. 9.7).

Pentru conexiunea stea puterea totală a condensatoarelor este:

$$Q_C = U^2\,\omega\,C_\lambda \quad (9.3.4)$$

în care:

U - este tensiunea de linie [V];
C_λ - capacitatea pe o fază în conexiunea stea [F].

$$C_\lambda = Q'_C/U_f^2\omega \quad (9.3.5)$$

Pentru conexiunea triunghi:

$$Q_C = 3U^2\,\omega\,C_\Delta \quad (9.3.6)$$

în care:

C_Δ - este capacitatea pe o fază în conexiune triunghi.

$$C_\Delta = Q'_C/U^2\omega \quad (9.3.7)$$

unde:

Q'_C - din relațiile 9.3.5 și 9.3.7 reprezintă capacitatea bateriei pe una din faze.

Din compararea relațiilor 9.3.5 și 9.3.6 rezultă că, pentru furnizarea aceleiași puteri reactive, în cazul legării condensatoarelor în triunghi, valoarea capacită-

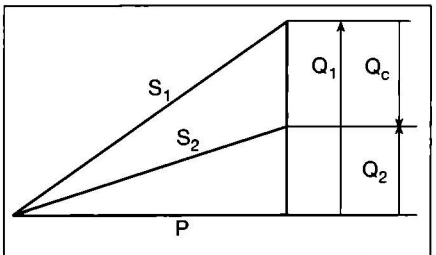


Fig. II.9.5. Diagrama puterilor pentru ameliorarea factorilor de putere.

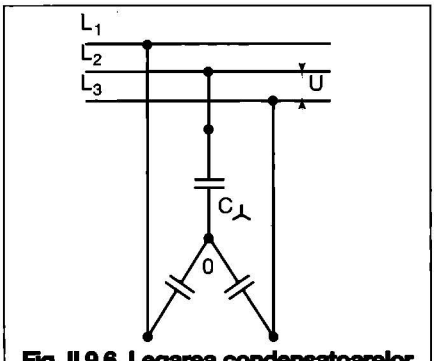


Fig. II.9.6. Legarea condensatoarelor în stea.

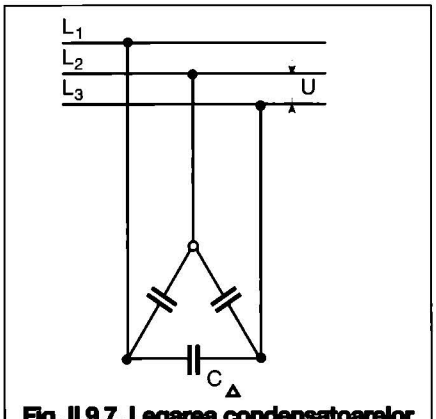


Fig. II.9.7. Legarea condensatoarelor în triunghi.

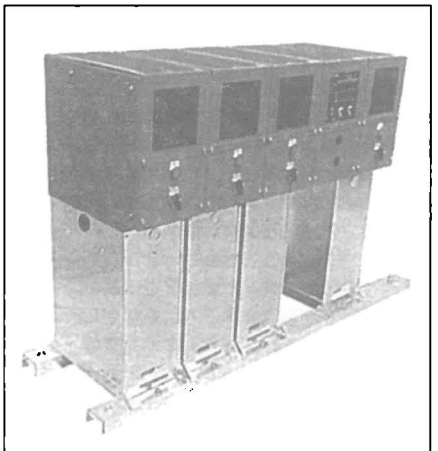


Fig. II.9.8. Baterie de condensatoare VARBLOC.

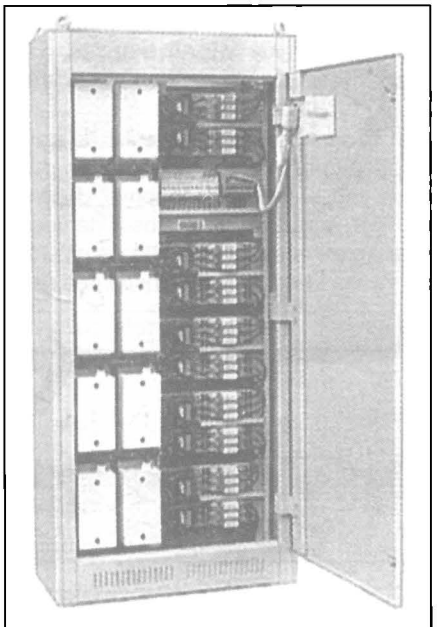


Fig. II.9.9. Baterie de condensatoare VARMATIC.

Tabelul II.9.6. Valorile factorului k

	$\cos \varphi_2$			
$\cos \varphi_1$	0,95	0,92	0,90	0,85
0,52	1,31	1,21	1,16	1,02
0,54	1,23	1,13	1,07	0,94
0,56	1,15	1,05	1,00	0,86
0,58	1,08	0,98	0,92	0,79
0,60	1,00	0,91	0,85	0,71
0,62	0,94	0,84	0,78	0,65
0,64	0,87	0,77	0,72	0,58
0,66	0,81	0,71	0,65	0,52
0,68	0,75	0,65	0,59	0,46
0,70	0,69	0,59	0,54	0,40
0,72	0,64	0,54	0,48	0,34
0,74	0,58	0,48	0,43	0,29
0,76	0,53	0,43	0,37	0,24
0,78	0,47	0,37	0,32	0,13
0,80	0,42	0,32	0,27	0,09
0,82	0,37	0,27	0,21	0,08
0,84	0,32	0,22	0,16	0,03
0,86	0,27	0,17	0,11	-
0,88	0,21	0,11	0,06	-
0,90	0,16	0,06	-	-

ții este de trei ori mai mică decât în cazul legării în stea, ceea ce constituie un avantaj economic remarcabil. Cu toate acestea, în practică, pe medie tensiune, se preferă conexiunea stea care permite un control al integrității condensatoarelor.

În fig. II.9.8 și II.9.9 sunt prezentate bateriile de condensatoare VARBLOC și VARMATIC.

În tabelul II.9.7 sunt date caracteristicile tehnice ale bateriei de condensatoare VARBLOC, iar în tabelul II.9.8, cele ale condensatoarelor VARMATIC.

Montarea bateriilor de condensatoare la consumator se poate face:
- centralizat sau semicentralizat, la tablourile generale de distribuție sau la tablourile de distribuție ale grupurilor de receptoare;
- individual (local), la bornele receptorului;
- mixt (centralizat sau semicentralizat și local).

În cazul ameliorării factorului de putere centralizat sau semicentralizat se folosesc baterii de condensatoare fracționate (cu mai multe trepte de putere) comutabile automat, care sunt în măsură să asigure un factor de putere corespunzător, în cazul unei sarcini reactive variabile în timp, fără a debita energie reactivă în sistem, în regimuri de sarcini mici.

În cazul ameliorării individuale la motoarele asincrone, puterea bateriei de condensatoare se stabilește astfel încât să asigure cel mult 90% din puterea de mers în gol a motorului.

Calculul secțiunii conductoarelor

Conductele pentru alimentarea bateriei de condensatoare se dimensionează pentru un curent maxim egal cu 1,4 ori curentul nominal al bateriei, curent ce se calculează cu relația:

$$I_{nC} = \frac{Q_C}{\sqrt{3}U} \quad [A] \qquad (9.3.8)$$

în care:

Q_C - este puterea bateriei [VAr];

U - tensiunea de linie [V].

Elementele de protecție a bateriilor de condensatoare

Instalațiile de condensatoare pentru îmbunătățirea factorului de putere trebuie protejate împotriva supracurenților prin siguranțe fuzibile, siguranțe fuzibile și contactoare cu relee termice sau disjunctoare, după caz.

Fac excepție bateriile de condensatoare legate direct la bornele receptoarelor și conectate la rețea simultan cu acestea, care nu necesită dispozitive de protecție speciale în afara celor care asigură protecția receptoarelor respective (motoare, lămpi fluorescente etc.).

Caracteristicile dispozitivelor de protecție la supracurenți se aleg avându-se în vedere amsamblul receptor – condensator.

Siguranțele fuzibile pentru protecția instalațiilor de condensatoare se aleg, de preferință, cu o caracteristică lentă, cu un curent nominal al fuzibilului cel puțin egal cu $1{,}6\ I_{nC}$, în cazul conectării în trepte intermediare a bateriei și, cel puțin egal cu $1{,}8\ I_{nC}$, în cazul conectării directe (fără trepte). Prin I_{nC} s-a notat curentul nominal al bateriei, curent calculat cu relația 9.3.8.

Disjunctoarele pentru protecția instalațiilor de condensatoare se aleg de tipul cu rupere în aer. Curentul releelor maximale se va regla la o valoare de cel mult $1{,}2I_{nC}$.

Schemele de montare a bateriilor de joasă tensiune

Bateriile de condensatoare de joasă tensiune, de regulă, cuprind:
- un întreruptor manual sau automat pentru conectarea bateriei dacă funcționarea ei este independentă de funcționarea unui receptor inductiv (fig. II.9.10); în cazul în care bateria este destinată, în exclusivitate, pentru un anumit receptor, atât bateria cât și receptorul vor fi conectate prin același întreruptor sau contactor (fig. II.9.11);

Tabelul II.9.7. Caracteristicile tehnice ale bateriei de condensatoare VARBLOC, la 50 Hz

230 V				400 V			
Q [kVAr]	Nr trepte	Q [kVAr] pe unitate	Ref.	Q [kVAr]	Nr. trepte	Q [kVAr] pe unitate	Ref.
60	4	15	97060	125	5	25	97070
80	4	20	97061	132	4	33	97071
100	5	20	97062	175	7	25	97072
120	4	30	97063	198	6	33	97073
150	5	30	97064	200	4	50	97074
180	6	30	97065	225	9	25	97075
210	7	30	97066	232	4	58	97076
240	8	30	97067	250	5	50	97077
270	9	30	97068	290	5	58	97078
				300	6	50	97079
				348	6	58	97080
				406	7	58	97081
				464	8	58	97082
				522	9	58	97083
				580	10	58	97084
				638	11	58	97085
				696	12	58	97086

Tabelul II.9.8. Caracteristicile tehnice ale bateriei de condensatoare VARMATIC, la 50 Hz.

230 V				400 V			
Q [kVAr]	Nr. trepte	Q [kVAr] pe unitate	Ref.	Q [kVAr]	Nr. trepte	Q [kVAr] pe unitate	Ref.
10	4	2,5	97100	20	4	5	97130
12,5	5	2,5	97101	25	5	5	97131
15	3	5	97102	30	3	10	97132
20	4	5	97103	40	4	10	97133
25	5	5	97104	45	3	15	97134
30	4	7,5	97105	50	5	10	97135
37,5	5	7,5	97106	60	4	15	97136
40	4	10	97107	80	4	20	97137
50	5	10	97108	100	5	20	97138
60	6	10	97109	120	6	20	97139
75	5	15	97110	160	4	40	97140
90	6	15	97111	175	7	25	97141
100	5	20	97112	200	5	40	97142
120	6	20	97113	240	6	40	97143
125	5	25	97114	280	7	40	97144
150	6	25	97115	320	8	40	97145
175	7	25	97116	360	9	40	97146
200	8	25	97117	400	10	40	97147
225	9	25	97118				
250	10	25	97119				

- siguranțe fuzibile în cazul în care bateria nu este protejată de un întrerupător automat;
- ampermetre pe fiecare fază, legate direct sau pe secundarul unor transformatoare de măsură.

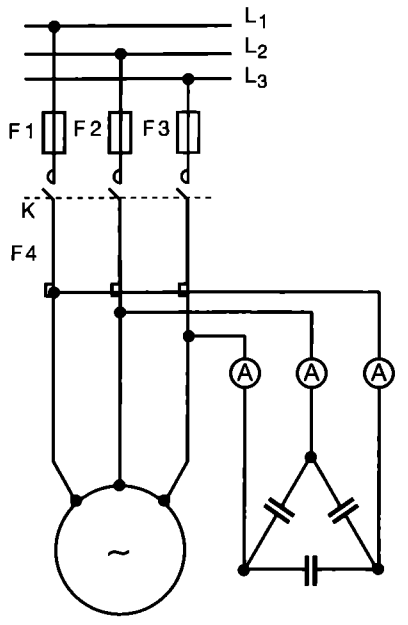


Fig. II.9.11. Legarea bateriei de condensatoare la bornele unui receptor:
F_1...F_3 - siguranțe de protecție la scurt circuit; K - contactor; F_4 - relee termice; A - ampermetre.

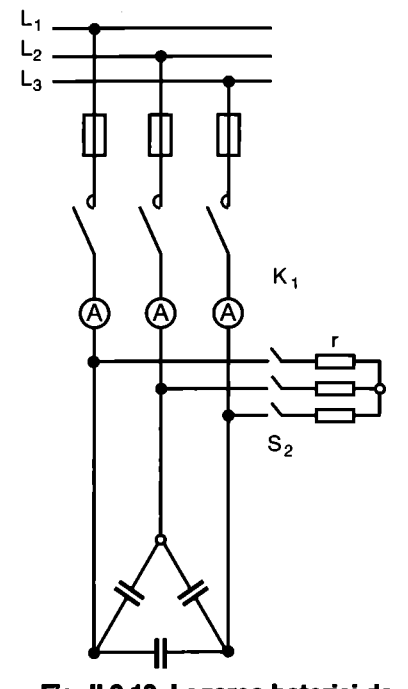


Fig. II.9.10. Legarea bateriei de condensatoare la rețea:
K_1 - contactor pentru conectarea bateriei; S_2 - întreruptor manual pentru conectarea rezistențelor de descărcare; r - rezistențe de descărcare legate în stea.

În fig. II.9.12 este prezentată o baterie de condensatoare cu 3 trepte conectată pe barele unui tablou de forță TF. Conectarea celor trei trepte este comandată prin intermediul unui bloc de comandă automat BCA. La bornele acestui bloc de comandă sunt conectate un semnal de curent, preluat de la transformatorul de măsură de curent TC montat pe faza L_1 a alimentării tabloului TF, precum și tensiunile fazelor L_2 și L_3 de pe barele tabloului.

Circuitele electronice din interiorul blocului de comandă prelucrează semnalele de tensiune și de curent, iar la ieșirea blocului de comandă va apare un semnal de tensiune proporțional cu curentul reactiv în punctul de racord.

În funcție de necesarul de putere reactivă se vor conecta treptele bateriei de condensatoare prin acționarea disjunctoarelor.

Dacă treptele bateriei vor fi inegale, de exemplu, în raportul 1:2:3, bateria va asigura 6 paliere de energie reactivă, asigurând în acest fel o corelare foarte bună între necesarul de energie reactivă solicitat de receptoarele racordate la tabloul de forță respectiv și energia reactivă debitată de baterie.

În practică se utilizează baterii de condensatoare cu 3...6 trepte.

Descărcarea condensatoarelor

După deconectarea condensatorului de la rețea, acesta rămâne încărcat cu o cantitate de energie electrică, iar tensiunea la bornele lui este egală cu tensiunea rețelei în momentul întreruperii circuitului. Circuitul rămânând deschis, se produce, în timp, o autodescărcare a condensatorului care durează cu atât mai mult cu cât dielectricul este de calitate mai bună. În condițiile dielectricilor moderni, această descărcare poate dura ore întregi.

Acest lucru poate constitui un pericol pentru personalul de exploatare. Din această cauză, normativele în vigoare impun ca fiecare baterie să fie prevăzută cu dispozitive de descărcare astfel alese încât după cel mult un minut de la deconectarea bateriei, tensiunea la bornele ei să scadă sub 42 V.

Fac excepție și nu se prevăd cu dispozitive speciale de descărcare, condensatoarele legate direct la bornele receptoarelor (fig. II.9.11).

Se menționează că, dacă un condensator este reconectat înainte de a fi complet descărcat, curentul va depinde atât de tensiunea rețelei cât și de tensiunea la bornele condensatorului, putând depăși valoarea curentului de conectare al condensatorului descărcat.

De aceea, pentru realizarea siguranței în exploatare și pentru a reduce șocurile de curent la conectare, trebuie să se asigure o descărcare rapidă a condensatoarelor, imediat după întreruperea circuitului.

În acest scop, în instalațiile de joasă tensiune, se întrebuințează rezistențe de descărcare, legate în paralel cu condensatoarele.

Valoarea rezistenței de descărcare este dată de relația:

$$r = \frac{t}{C \ln \frac{U_{max}}{U_{ad}}} \quad [\Omega] \qquad (9.3.9)$$

în care:

r - este rezistența de descărcare pe fază [W];
t - timpul de descărcare [s];
C - capacitatea bateriei pe fază [F];
U_{ad} - tensiunea de atingere admisibilă [V];
U_{max} - tensiunea maximă la bornele rezistenței [V];

Rezistențele de descărcare trebuie să satisfacă două condiții:

- după trecerea timpului de descărcare t, tensiunea la bornele condensatorului să fie sub limite maxime admise, de regulă, 42 V;
- pierderile în rezistențele de descărcare, pentru o tensiune egală cu tensiunea nominală a bateriei, nu trebuie să depășească 1 W/kVAr, întrucât rezistențele de descărcare pot fi conectate permanent la rețea în timpul funcționării condensatoarelor. Acest lucru poate fi evitat dacă pe circuitul rezistențelor se prevede un întreruptor manual (fig. II.9.10) sau un contactor acționat automat la punerea și scoaterea din funcțiune a bateriei.

În instalațiile de curent alternativ trifazat, rezistențele de descărcare pot fi conectate fie în triunghi (fig. II.9.13), fie în stea (fig. II.9.10), independent de schemele de legătură ale condensatoarelor din baterie.

În ceea ce privește siguranța în exploatare a circuitului de descărcare, conectarea în triunghi a rezistențelor este

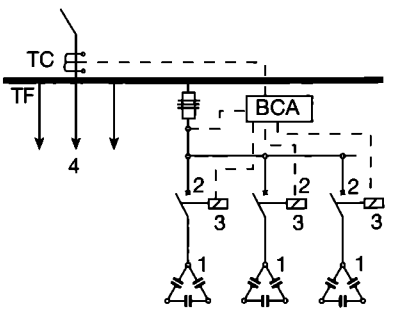


Fig. II.9.12. Legarea unei baterii de condensatoare cu trei trepte la barele unui tablou de forță:
TF - barele tabloului de forță; TC - transportor de curent; BCA - blocul de comandă automată; 1 - baterii trifazate legate în triunghi; 2 - disjunctoare (pentru acționare și protecție); 3 - comanda disjunctorului; 4 - receptoarele tabloului.

preferabilă, deoarece la întreruperea uneia din rezistențe, triunghiul rămâne deschis, iar posibilitatea de descărcare se păstrează pentru toate condensatoarele bateriei, singura diferență fiind că, în cazul triunghiului deschis, pe unul din circuitele de descărcare sunt înseriate două rezistențe, în loc de una singură, timpul de descărcare mărindu-se corespunzător.

Bateriile de condensatoare care se racordează pe stațiile de medie tensiune (6-10 kV) vor fi cu comandă manuală sau automată, cu una sau mai multe trepte de putere.

Schemele de conexiuni pentru bateriile de condensatoare trifazate sunt de medie tensiune și se realizează, de regulă, în dublă stea cu neutrele izolate față de pământ (fig. II.9.14).

Pe legătura dintre conductele de neutru se montează un transformator de curent cu care se realizează o protecție diferențială de curent, eficientă în cazul defectelor interne în condensatoare.

Celulele de medie tensiune prin intermediul cărora se conectează bateriile de condensatoare pot fi echipate cu disjunctoare sau contactoare.

Prezența bateriilor de condensatoare în rețelele electrice determină fenomene tranzitorii la conectarea, deconectarea și descărcarea automată a bateriilor.

Conectarea bateriei produce un șoc de curent a cărui valoare nu va trebui să depășească valoarea curentului de șoc al întrerupătorului sau contactorului folosit ca aparat de comutare și un șoc de tensiune care nu trebuie să depășească 3% din tensiunea nominală a rețelei.

Conectarea unei baterii se va executa numai dacă aceasta este complet descărcată, pentru că, în caz contrar, pot apare supratensiuni și supracurenți de valori mari care pot conduce la deteriorarea instalației și la perturbații în sistemul energetic.

Fenomenul de deconectare a bateriilor de condensatoare este dependent de caracteristicile aparatajului de conectare (întreruptor, contactor disjunctor), respectiv, de curentul maxim capacitiv, care poate fi rupt de acesta.

Regimul de descărcare a bateriei este impus de considerentele prezentate mai sus, precum și în scopul asigurării lucrărilor de revizii și reparații în condiții depline de securitate a muncii.

Bateriile de condensare de medie tensiune sunt prevăzute cu o instalație fixă de descărcare, având rolul ca după deconectare să asigure reducerea tensiunii sub 50 V într-un timp maxim de 5 min. Descărcarea se face automat prin înfășurările a două transformatoare de tensiuni bifazate, conectate în triunghi deschis și racordate, nemijlocit, la bornele bateriei de condensatoare fără aparate de conectare sau protecție (fig. II.9.14, TT1, TT2).

Instalații de protecție prin relee

Bateriile de condensatoare de medie tensiune vor fi prevăzute cu următoarele tipuri de protecție prin relee:

- protecție maximă de curent realizată în două trepte de reglare cu relee maximale de curent care acționează declanșarea elementului de comutare. Releele sunt alimentate de transformatoarele de curent din celula de condensatoare. Treapta I -a va acționa la scurtcircuit pe baterie având o temporizare de 0,2...0,5 s. Treapta II-a va acționa la suprasarcină având o temporizare de 1...5 s;
- protecție maximală de tensiune care protejează bateria de condensatoare împotriva creșterilor de tensiune peste limita de 10% admisă de baterie. Temporizarea protecției se stabilește între 1 și 5 s.
- protecție de minimă tensiune care acționează în cazul scăderii tensiunii pe bara la care este racordată bateria, de regulă, la pauzele de tensiune provocate de AAR (anclanșarea automată a rezervei), în scopul evitării unor supratensiuni periculoase ce pot apare la anclașarea întrerupătorului sursei, bateria nefiind descărcată. Temporizarea se va regla cu o treaptă de timp inferioară timpului de acționare al AAR-ului.

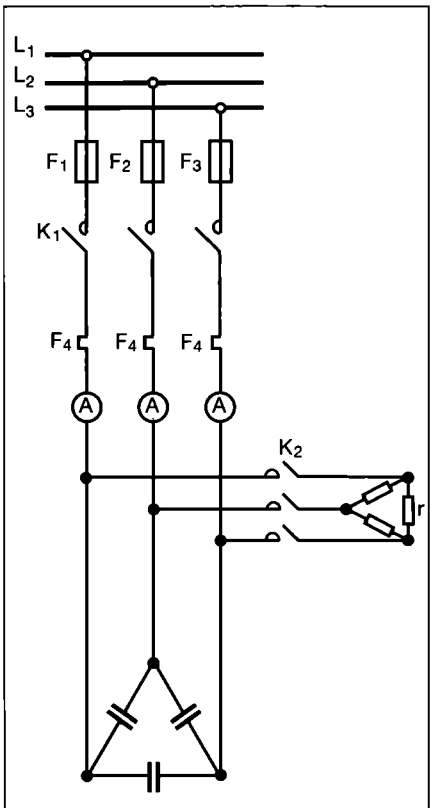


Fig. II.9.13. Legarea rezistențelor de descărcare în triunghi:
F_1...F_3 - siguranțe fuzibile pentru protecție la scurtcircuit; F_4 - releu termic pentru protecție la suprasarcină;
K_1 - contactor pentru acționarea bateriei; K_2 - contactor pentru acționarea rezistențelor de descărcare.

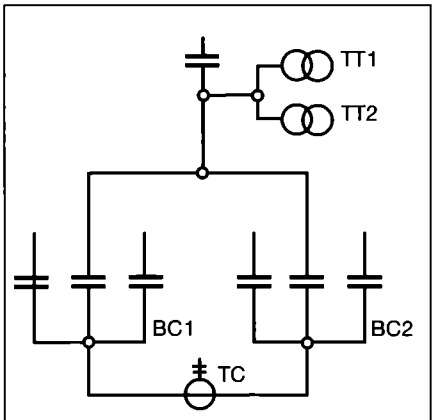


Fig. II.9.14. Schema de legare a bateriilor de condensatoare pe medie tensiune, în dublă stea cu punctele „neutru" izolate față de pământ:
TT1 și TT2 - transportoare de putere; BC1 și BC2 - baterii de condensatoare pe medie tensiune; TC - transformator de curent.

9.4. Calculul de eficiență tehnico-economică

În conformitate cu actualele reglementări, consumatorii industriali trebuie să absoarbă energia de la sistem la un factor de putere neutral de 0,92. Energia reactivă consumată suplimentar de la un factor de putere mai mic de 0,92 se plătește la un preț variabil, în funcție de tensiunea la care se realizează consumul.

În vederea realizării factorului de putere neutral, consumatorii vor lua, în primul rând, măsuri de creștere a factorului de putere pe cale naturală și, după epuizarea acestor măsuri, de creștere a factorului de putere, pe cale artificială.

Instalarea de mijloace suplimentare de ameliorare va fi eficace dacă cheltuielile aferente instalării și exploatării acestora vor fi mai mici decât efectul economic obținut:

$$C_W + C_Q + C_U + C_C \geq C_K \qquad (9.3.10)$$

unde:

C_W - este efectul economic obținut prin reducerea pierderilor de energie activă;
C_Q - efectul economic obținut prin reducerea pierderii aferente puterii reactive;
C_U - efectul economic obținut prin ridicarea nivelul de tensiune;
C_C - efectul economic obținut prin creșterea capacității de transport;
C_K - cheltuieli pentru instalarea și exploatarea instalațiilor de ameliorare și reglaj.

II. Instalații electrice

Capitolul 10

Instalații de semnalizare pentru transmiterea informațiilor

10.1. Instalații pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiului

10.1.1. Probleme generale

Incendiul este un fenomen complex cu caracter aleatoriu și evoluție necontrolată. Prin formele sale violente de manifestare, reprezintă un pericol permanent pentru om. Oriunde ar izbucni, incendiul provoacă panică, distruge liniștea, armonia, confortul material și psihologic al celor confruntați cu acest sinistru. În cazuri grave, incendiul produce pierderi de vieți omenești, importante pagube materiale și, prin consecințele sale, poate genera efecte care greu pot fi imaginate.

Domeniile de aplicație ale instalațiilor pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiilor

Instalațiile automate se diferențiază, în general, după principala utilitate (semnalizare sau stingere). Aceste principale funcțiuni ale unei instalații automate se regăsesc atât separat, cât și împreună.

Principalele domenii de aplicație sunt:

- locuințele, clădirile cu birouri, întreprinderile în care riscurile de incendiu sunt reduse, ținând mai mult de alimentarea cu energie electrică, termică sau gaze; în acest domeniu predomină instalațiile de semnalizare, instalațiile de stingere automată utilizându-se numai ca o măsură suplimentară de protecție, acolo unde sunt depozitate valori mari (tezaure de bancă, depozite de muzeu etc.) sau în zonele cu echipament de calcul cu importanță strategică;
- întreprinderile industriale care, prin diversitatea lor, reprezintă un câmp foarte vast de aplicare a instalațiilor de semnalizare și stingere a incendiului; ponderea instalațiilor de stingere este mult mai mare datorită riscurilor mari de incendiu în secțiile în care se utilizează materiale inflamabile, instalații electrice de forță, instalații termo-mecanice etc; instalațiile de semnalizare sunt, de asemenea, frecvent întâlnite în zone în care riscurile de incendiu sunt mult mai mici sau timpul de desfășurare a acestuia, mai mare;
- depozitele și stațiile de distribuție pentru carburanți, zone cu atmosferă cu pericol de explozie etc; pentru aceste domenii, cu risc mare de incendiu, se utilizează instalații de stingere; acolo unde desfășurarea incendiului poate fi atât de rapidă încât nici stingerea automată nu limitează suficient urmările unui incendiu se va utiliza o instalație de monitorizare a gazelor și substanțelor și de semnalizare a apariției amestecurilor explozive.

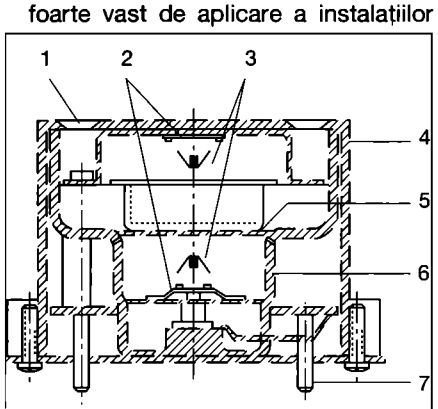


Fig. II.10.1. Structura unui detector de fum cu cameră dublă de ionizare:
1- grilă de protecție; 2 - sursă radioactivă; 3 - direcție de radiație; 4 - carcasă; 5 - electrod ; 6 - ecran; 7 - pin de conectare.

Reglementări legale în vigoare

Întreaga activitate în domeniul proiectării, realizării, instalării, punerii în funcțiune, exploatării și întreținerii unei astfel de instalații se poate face numai de firme avizate, de instituții desemnate, prin persoane avizate și cu echipamente agrementate.

În țara noastră, dintre normativele care reglementează aceste probleme, se remarcă următoarele:

- Normele generale de protecție împotriva incendiilor la proiectarea și realizarea construcțiilor și instalațiilor;
- Normele tehnice de proiectare privind protecția la acțiunea focului P 118;
- Normele de prevenire și stingere a incendiilor în unitățile din ramurile industriei electronice, electrotehnice și mecanicii fine și de dotare cu mașini, instalații, utilaje, aparatură, echipamente de protecție și substanțe chimice pentru prevenirea și stingerea incendiilor, aprobate cu Ordinul nr. 12 / 92 – O.D.I.E.M.F.;
- Normativul pentru proiectarea, executarea și exploatarea instalațiilor fixe de stins incendiul cu CO_2–ID49;
- Hotărârea Guvernului nr. 51/92, completată prin Hotărârea Guvernului nr. 71/96, privind unele măsuri pentru îmbunătățirea activității de prevenire și stingere a incendiilor;
- Normele generale de prevenire și stingere a incendiilor, Legea 307/2006.

Alte normative, legiferate în statele CEE sunt în curs de omologare și în țara noastră. Norma cea mai importantă din punctul de vedere al dimensionării instalațiilor pentru detecția și semnalizarea incendiului este standardul SREN-54-1 la SREN 54-22.

10.1.2. Metode și tehnologii pentru detecția incendiului

10.1.2.1 Detectoare de fum

Fumul este constituit din totalitatea particulelor aeriene, vizibile sau invizibile, rezultate în urma combustiei. Detectoarele de fum sunt proiectate să sesizeze prezența acestor particule. Astăzi sunt utilizate două principii de sesizare a fumului: ionizarea și efectul fotoelectric.

Detectoarele de fum cu cameră de ionizare

Un detector de fum, cu cameră de ionizare, clasic este constituit din două plăci conducătoare de electricitate, conectate la o sursă de tensiune continuă și o sursă radioactivă (de obicei Americiu 241) care ionizează aerul dintre plăci. Sursa radioactivă crează un mic curent de ionizare care poate fi măsurat de un circuit electronic conectat la cele două plăci.

Particulele emise în urma unei combustii sunt mult mai mari decât moleculele de aer ionizate. Pe măsură ce particulele de fum pătrund în camera de ionizare, moleculele de aer, ionizate se combină cu ele. În acest mod particulele de fum devin centre de recombinare, iar numărul total de particule ionizate din cameră se reduce. Când curentul se reduce cu o anumită valoare predeterminată se declanșează o semnalizare de alarmă.

Schimbările de umiditate și presiune atmosferică pot afecta curentul din camera de ionizare și astfel pot crea un efect similar cu pătrunderea particulelor de fum în camera de măsură. Pentru compensarea efectelor umidității și presiunii s-a construit detectorul cu cameră de ionizare dublă care este frecvent utilizat în zilele noastre (fig. II.10.1).

Un detector de fum cu cameră dublă de ionizare utilizează o cameră care este deschisă către mediul înconjurător (cameră de măsură) și o a doua cameră închisă față de mediul înconjurător, dar afectată de umiditate și presiune (camera de referință). Camera de referință este separată de mediul prin pereți în care sunt practicate orificii de diametru foarte mic care nu permit pătrunderea particulelor de fum. Circuitul electronic monitorizează curenții de ionizare din ambele camere și le compară valorile. Dacă umiditatea sau presiunea se schimbă, ambele camere sunt afectate în mod egal și nu apar diferențe între curenții lor de ionizare.

Dacă în camera de ionizare de măsură pătrund particule de fum, curentul de ionizare a acesteia se

reduce, în timp ce curentul de ionizare din camera de referință rămâne neschimbat. Diferența valorilor celor doi curenți este detectată de circuitul electronic care emite o semnalizare de alarmă.

Detectoarele de fum optice prin obturare

Sunt constituite dintr-o sursă de lumină și un receptor fotosensibil (de exemplu, o fotodiodă). Într-o atmosferă normală (care nu conține particule de combustie) receptorul primește o cantitate constantă de lumină emisă de sursă. Apariția particulelor de fum duce la obturarea parțială sau totală a fasciculului de lumină stabilit între sursă și receptor, producând reducerea curentului electric generat de receptor. Modificarea curentului receptorului este detectată de un circuit electronic și, dacă acesta a depășit o anumită valoare, este generată o semnalizare de alarmă.

În mod curent acest tip de detectoare este utilizat pentru extinderea zonei supravegheate și în clădiri cu înălțime foarte mare (biserici, holuri interioare cu înălțime mare).

Detectoare de fum optice prin difuzie

Cele mai utilizate detectoare de fum optice sunt cele care se bazează pe difuzia luminii (fig. II.10.2).

O diodă electroluminiscentă (LED) emite o radiație luminoasă (în spectrul infraroșu) în camera de măsură a detectorului. În această cameră este amenajat un labirint în care este integrat un receptor de lumină (de exemplu, o fotodiodă), care însă nu recepționează radiația emisă de LED.

Când particulele de fum pătrund în zona camerei de măsură inundată de radiația luminoasă a diodei electroluminiscente, lumina este reflectată de acestea. O parte a radiației luminoase ajunge, în acest mod, la receptor provocând generarea unei semnalizări de alarmă.

Detectoare speciale

Detectoarele de fum prezentate se mai numesc și detectoare punctuale datorită faptului că necesită o amplasare de asemenea manieră încât fumul emis în caz de incendiu să treacă prin ele.

Cum în unele situații nu este posibilă amplasarea detectoarelor de fum pe traseul probabil al fumului emis în caz de incendiu, s-a dezvoltat o serie de construcții auxiliare care să orienteze fumul pe drumul dorit.

De exemplu, pentru monitorizarea aerului vehiculat prin tubulatura instalației de climatizare se utilizează un dispozitiv special care realizează o cale de circulație (derivație) pentru acesta, trecându-l astfel prin dreptul unui detector de fum (fig. II.10.6). Apariția de fum în aerul ventilat duce la generarea unui semnal de alarmă.

Metode de reducere a alarmelor false la detectoarele de fum

Detectoarele de fum trebuie să genereze o semnalizare de alarmă atunci când sesizează prezența particulelor de combustie, dar, pe de altă parte, trebuie să minimizeze impactul semnalelor nedorite ce apar dintr-o varietate de cauze.

Există o serie de factori care afectează detectoarele de fum cu cameră de ionizare: praful, umiditatea excesivă, curenții de aer importanți și insectele mici pot fi interpretate în mod greșit ca particule de combustie. Cu cât detectorul este mai sensibil cu atât el va fi mai afectat de acești factori și va genera alarme false. Praful și murdăria se pot acumula pe sursa de radiație provocând scăderea sensibilizării detectorului.

Într-un detector de fum optic, pătrunderea insectelor, a murdăriei, a prafului din aer, a particulelor desprinse de pe pereții uscați pot reflecta lumina emisă de dioda electroluminiscentă și pot produce astfel alarme false.

Perturbațiile electrice tranzitorii sau energia radiată de alte aparate electrice pot afecta circuitele electronice ale ambelor tipuri de detectoare și pot fi interpretate de acestea ca sesizări de fum generându-se semnalizări de alarmă.

Trebuie precizat că valorile sensibilității admise pentru detectoarele de fum sunt standardizate și verificate, pentru fiecare producător și tip de dispozitiv, de către instituții specializate (VdS în Germania, Underwriters Laboratories în Statele Unite etc.).

Pentru reducerea alarmelor false, în condițiile asigurării unei sensibilități corespunzătoare, se folosesc metode de prelucrare electronică a semnalelor. Astfel firma Eff-Eff (Germania) utilizează două metode de reducere a alarmelor false, denumite SDN (Storungsmeldung - Diagnose - Nachfuhrung) și MSR (Mehrkriterien-Auswertung - Signalanalyse - Rastererkennung).

Metoda SDN realizează următoarele prelucrări de semnal:

- evaluarea automată a erorilor pentru semnalele care nu ating pragul de decizie și corectarea nivelului de decizie în funcție de aceasta (fig. II.10.3); atingerea unor praguri predeterminate duce la semnalizarea iminentei defectări a detectorului (o semnalizare de preavertizare și, respectiv, o semnalizare de avertizare);
- declanșarea, la comanda transmisă de centrala de semnalizare, a unei autodiagnosticări care, pe de o parte, verifică circuitul electronic și funcțiile logice ale procesului de

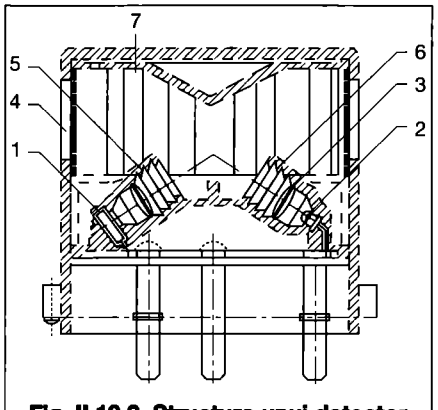


Fig. II.10.2. Structura unui detector de fum fotoelectric:
1 - fotodiodă; 2 - diodă emițătoare; 3 - lentilă biconvexă; 4 - filtru; 5 - receptor; 6 - emițător; 7 - labirint.

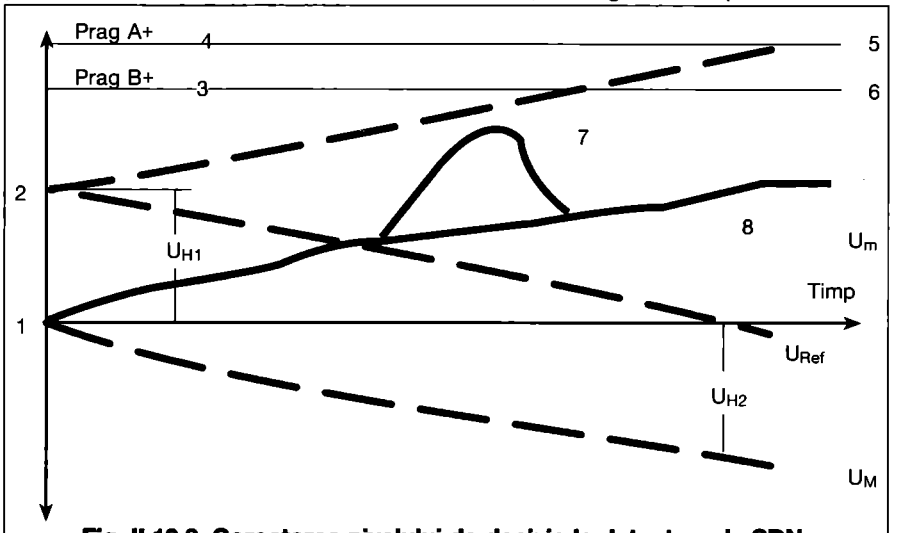


Fig. II.10.3. Corectarea nivelului de decizie la detectoarele SDN:
1 - valoare de bază; 2 - valoare de decizie; 3 - diagnoză; 4 - avertizare; 5 - adaptare; 6 - întreținere preventivă; 7 - eroare; 8 - valoare măsurată.

semnal, iar, pe de altă parte, semnalizează dacă corecția nivelului de decizie a ajuns la valorile predeterminate indicând murdărirea sau îmbătrânirea detectorului;
- adaptarea succesivă la condițiile ambientale.

Metoda MSR realizează următoarele prelucrări de semnal:
- utilizarea în tandem a unui detector de fum (optic sau cu cameră de ionizare) împreună cu un detector termodiferențial sau termomaximal, numit și detector multicriteriu, un asemenea tip de detector asigură detectarea incendiului și în cazurile în care incendiul se manifestă prin fenomene atipice (de exemplu, un incendiu cu flacără într-un mediu în care, în mod normal, emisia de fum este manifestarea tipică);
- corectarea nivelului de decizie se face prin reducerea sa în trepte, din momentul în care semnalul de măsură a atins un prag de prealarmă (fig. II.10.4). Reducerea în trepte este astfel reglată, încât detectorul prezintă o sensibilitate mărită la o creștere lentă a conținutului de fum și o sensibilitate micșorată la o creștere rapidă a acestuia în acest mod, o mare parte din fenomene este ignorată. În funcție de analiza în laborator a manifestării incendiului în diverse condiții, se pot programa parametrii de corecție a nivelului de decizie, obținându-se astfel detectoare perfect adaptate situației 'de facto' din teren (fig. II.10.5).

10.1.2.2 Detecția ultrarapidă a fumului; detectoare specifice

Tehnici de detecție ultrarapidă a fumului prin absorbție

Un dispozitiv de detecție a fumului prin absorbție este alcătuit dintr-o carcasă care conține un detector de fum, un dispozitiv de absorbție și câteva ieșiri de comandă.

În locul amplasării unui detector de fum astfel încât, în caz de incendiu, aerul să treacă prin el, dispozitivul de absorbție realizează presiunea negativă necesară pentru a asigura o circulație permanentă de aer printr-o rețea de țevi distribuite pe toată suprafața supravegheată. În țevile rețelei sunt practicate orificii pentru absorbția aerului.

Principalul avantaj al acestei metode este acela că detectează fumul la momentul incipient al unui incendiu.

Un alt avantaj este reprezentat de capacitatea unei astfel de instalații de a supraveghea suprafețe mari, fie prin asigurarea unei ventilații forțate corespunzătoare, fie printr-o rețea extinsă de țevi de absorbție.

Prin această metodă pot fi preluate mostre de aer de la diferite niveluri de înălțime, eliminându-se astfel inconvenientul stratificării fumului prin care concentrația de particule de combustie diferă în funcție de înălțime, temperatură sau umiditate.

Un alt avantaj, în special, în obiectivele de mari dimensiuni, este acela că efortul de mentenanță este redus prin aceea că mai multe puncte de preluare a eșantioanelor de aer sunt conectate la un singur detector de fum.

Capacitatea de a prelua mostre de aer de la distanță permite disimularea instalației, prin mascarea rețelei de țevi, din motive estetice (de exemplu, în clădiri cu arhitectură deosebită) sau funcționale (de exemplu, într-o cameră izolată acustic). Pentru preluarea mostrelor de aer sunt suficiente orificii de 3 mm diametru.

Datorită faptului că prin această metodă incendiul poate fi detectat cu mult înainte de a începe, detecția ultrarapidă a fumului prin absorbție este recomandată, în special, în obiectivele care conțin valori materiale deosebite sau în care întreruperea activității, ca urmare a unui început de incendiu, poate fi foarte dăunătoare sau foarte costisitoare (de exemplu, într-o „cameră curată").

Camerele cu echipament de calcul sau de telecomunicații dotate cu echipamente de climatizare artificială a aerului sunt adesea protejate cu dispozitive de detecție a fumului, prin absorbție, instalate astfel încât să preia mostre de aer din interiorul echipamentelor sau din conductele principale de ventilare.

Metoda menționată permite supravegherea unor suprafețe mari cu un singur

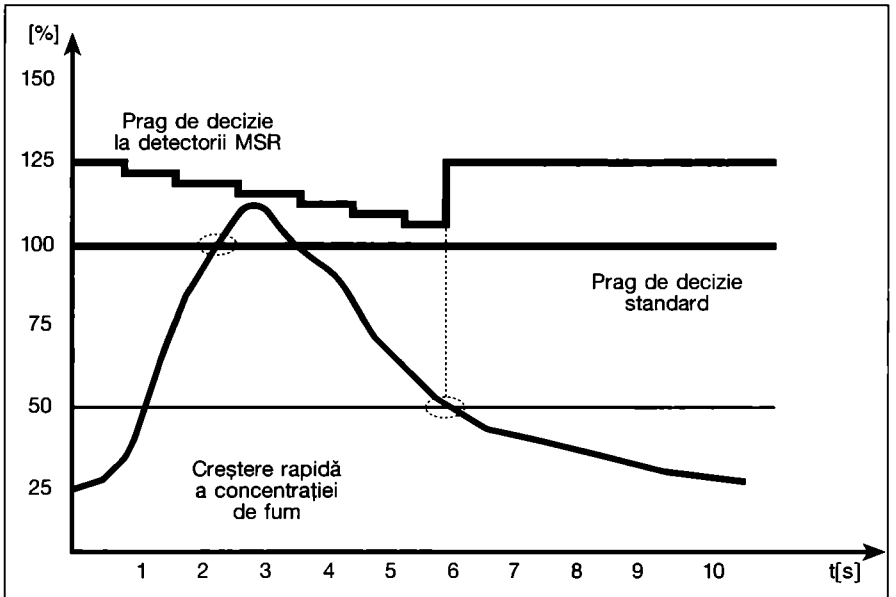


Fig. II.10.4. Caracteristica de răspuns a unui detector MSR la un puseu scurt de fum.

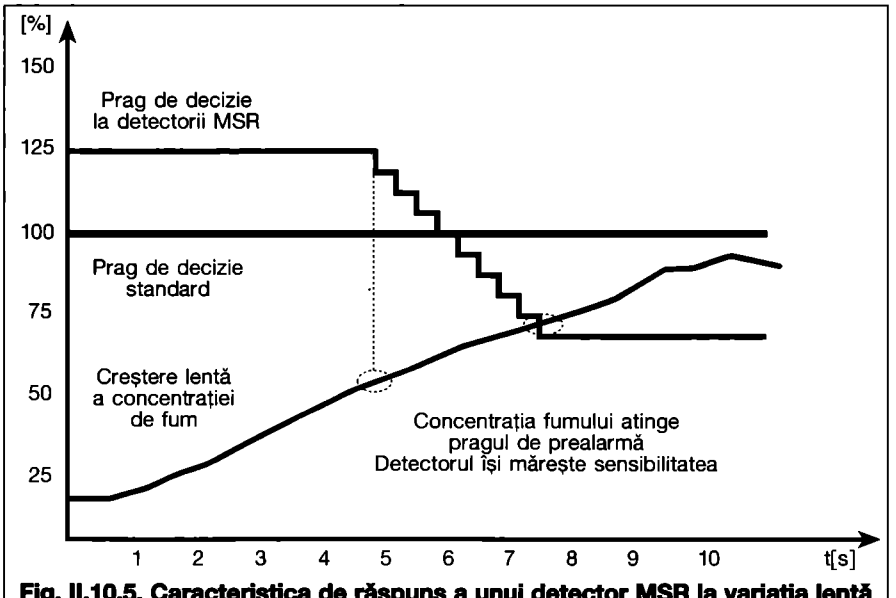


Fig. II.10.5. Caracteristica de răspuns a unui detector MSR la variația lentă a fumului.

dispozitiv. Delimitarea suprafeței de supraveghere este condiționată de timpul maxim admis pentru transportul aerului de la oricare punct de preluare către detector. Reglementările BFPSA (British Fire Protection Systems Association) limitează acest timp la 120 secunde.

Detectoarele folosite în dispozitivele de detecție a fumului prin absorbție

Principiul de funcționare al acestei metode impune utilizarea unor detectoare de fum ultrasensibile. Detectoarele de fum punctuale prezentate anterior ar necesita un flux de aer foarte mare, pentru a asigura o semnalizare corectă într-un dispozitiv de detecție a fumului prin absorbție.

Există mai multe metode de detecție utilizate pentru a se asigura sensibilitatea sporită necesară: difuzie în lumină intensă, numărătoarea particulelor cu laser, ionizare și tehnologia camerei cu ceață.

Detectorul cu difuzie în lumină intensă funcționează similar cu un detector de fum optic punctual. O sursă emite lumină într-un volum de măsură. Un foto-detector este astfel amplasat, în raport cu sursa, încât, în condiții de aer curat, nu recepționează lumina. Prezența fumului provoacă difuzia luminii incidente care este parțial recepționată de foto-detector.

Capacitatea de a detecta fumul la niveluri de densitate mult mai mici este obținută prin mai multe metode. Una dintre primele tehnici folosite a fost utilizarea unei surse de lumină cu xenon, de mare intensitate, care inundă volumul de măsură, eliminând orice efect provocat de zgomotul indus de lumina ambientă.

Tehnicile mai frecvente folosesc pentru același scop surse laser.

Alte surse de alarmare pot fi eliminate prin utilizarea mai multor senzori care să permită diferențierea particulelor (după culoare, mărime, formă etc.).

Utilizarea de algoritmi de analiză a semnalului detectat reprezintă o altă modalitate de a crește sensibilitatea de detecție și de a elimina alarmele false.

Detectorul cu numărare a particulelor cu laser utilizează același principiu al difuziei luminii descris mai sus dar se bazează pe foto-detectoare foarte sensibile. Lumina difuzată este recepționată sub forma unor impulsuri a căror amplitudine este dependentă de mărimea particulei și de curentul de aer care traversează volumul de măsură. Circuitul electronic, integrat în detector, asigură o sensibilitate proporțională cu fluxul de aer și reduce alarmele false prin numărarea statistică și analiza mărimii particulelor.

Detectoarele bazate pe ionizare funcționează asemănător cu detectoarele de fum cu cameră de ionizare, punctuale, echipate însă cu o sursă radioactivă de intensitate mai mare în vederea încărcării particulelor cu o sarcină electrică sporită, astfel încât un număr mai mic de particule să poată asigura atingerea pragului de detecție.

Detectoarele cu cameră cu ceață au o atmosferă bogată în vapori de apă în care particulele de combustie sunt înconjurate de mici picături de apă care condensează. Ele devin astfel ușor vizibile și sunt detectate printr-un sistem optic de măsură.

Semnalizarea incendiului cu detectoare de fum prin absorbție poate fi unizonală, multizonală sau multipunctuală. Un dispozitiv unizonal oferă o singură semnalizare pentru toată zona supravegheată, un dispozitiv multizonal asigură semnalizări diferite pentru mai multe domenii ale zonei supravegheate iar un dispozitiv multipunct identifică unul dintre punctele supravegheate.

Alegerea tipului de dispozitiv se face în funcție de mărimea zonei supravegheate, de domeniile delimitate în această zonă, de timpul de răspuns cerut și de unele considerente de echipament. De exemplu, un detector multizonal supraveghează aceași zonă ca și un detector unizonal, utilizând același tip de țevi (de obicei, țevi cu diametrul cuprins între 15 și 21 mm). Un dispozitiv multipunct supraveghează câteva puncte de măsură, utilizând țevi de absorbție cu diametrul redus (6...8 mm).

Detectoarele de fum prin absorbție detectează un prag de prealarmă, într-un mod continuu de măsură după care intră într-o secvență de identificare a zonei sau punctului care a generat alarma.

Detectoarele de fum prin absorbție sunt livrate în diferite variante de echipare:
- cu control local sau de la distanță;
- cu sau fără interfață adresabilă pentru integrarea într-o buclă de centralizare a semnalizărilor;
- cu sau fără sursă de alimentare.

Sunt disponibile detectoare de fum prin absorbție și pentru medii cu pericol de explozie.

10.1.2.3 Detectoare de temperatură

Creșterea temperaturii este unul din fenomenele prin care se manifestă un incendiu. În funcție de felul incendiului, de mărimea spațiului în care acesta se desfășoară, de condițiile de mediu creșterea temperaturii se realizează mai devreme sau mai târziu. În general, creșterea temperaturii, în cazul unui incendiu, se manifestă ulterior apariției fumului. Există însă tipuri de incendii (de exemplu, arderea benzinei) care se manifestă cu puțin fum și cu o creștere rapidă a temperaturii. De aceea detectoarele de temperatură sunt frecvent întâlnite în instalațiile de semnalizare a incendiului.

Detectoarele termodiferențiale

Sunt dispozitive automate care răspund la o anumită viteză de creștere a temperaturii. Elementul de detecție este consituit de un rezistor cu variație negativă cu temperatura. Aceste componente sunt îmbătrânite artificial, în prealabil, asigurând astfel un răspuns uniform pe parcursul mai multor ani.

Măsurarea este realizată de un amplificator cu tranzistori cu efect de câmp, iar generarea semnalului de alarmă, de un etaj bistabil.

În practică, se utilizează 3 clase de detectoare termodiferențiale, corespunzător unor viteze de creștere a temperaturii de 4, 8 și, respectiv, 18°C/min.

Detectoare termomaximale

Alcătuit la fel ca detectorul termodiferențial, detectorul termomaximal răspunde la atingerea unui prag de temperatură. În practică se utilizează 4 clase de detectoare termomaximale, corespunzător temperaturilor de 58; 65; 71 și 81°C.

10.1.2.4 Detectoare de flacără

O altă formă de manifestare a unui incendiu o reprezintă radiația electromagnetică, în spectrul dintre infraroșu și ultraviolet. Manifestarea acestui fenomen, în spectrul vizibil, este flacăra. În consecință, o metodă de detecție a incendiului este măsurarea nivelului de

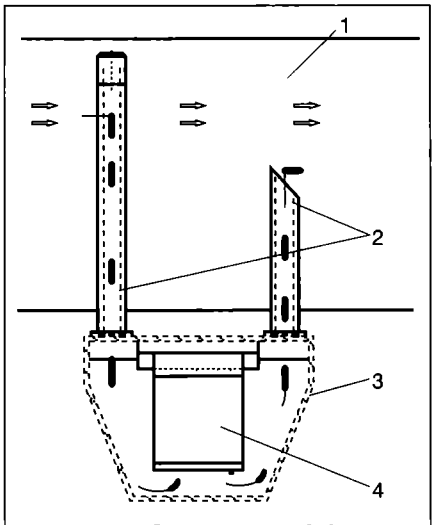


Fig. II.10.6. Structura unui detector de fum pentru tubulatura de ventilare și circulația aerului prin acesta:
1 - tub de ventilare; 2 - derivație; 3 - carcasă; 4 - detector de fum.

radiație electromagnetică din zona supravegheată. Prezența fondului de radiație electromagnetică naturală (solară) sau artificială face posibilă detectarea incendiului numai în zonele de infraroșu sau ultraviolet. *Detectoarele de flacără în infraroșu* sunt mai puțin utilizate, în ultima vreme, datorită prezenței unui fond de radiație naturală sau artificială (surse de încălzire sau iluminat care emit radiații și în acest spectru).

Detectoare de flacără în ultraviolet

Detectorul de flacără în ultraviolet utilizează un traductor GEIGER - MUELLER care detectează radiația electromagnetică în spectrul 1850-2450 Å (fig. II.10.7).

Radiația luminoasă este emisă în cuante (fotoni). Energia unui foton este dependentă de lungimea de undă a radiației. Când un foton este absorbit într-un metal, cum este catodul (placa conectată la polul negativ al unei surse electrice) unui detector de radiații ultraviolete, energia sa este donată unui electron din metal determinându-l să părăsească suprafața metalului și să fie atras spre anod, dacă se află în prezența unui câmp suficient de mare. Nivelul de energie necesar pentru desprinderea unui electron din catod este caracteristic metalului din care este construit acesta.

Catodul detectorului de radiații ultraviolete va emite electroni dacă este expus la radiații cu lungime de undă mai mică de 2450 Å. Pe de altă parte, anvelopa detectorului oprește radiația electromagnetică cu lungime de undă mai mică de 1850 Å. De aceea răspunsul spectral al detectorului de radiații ultraviolete este cel prezentat mai sus.

Balonul detectorului este umplut cu un gaz ionizabil, astfel încât, dacă un electron este emis de catod și atras spre anod, el bombardează molecula de gaz, întâlnită, cu suficientă energie pentru a provoca o emisie secundară de electroni din aceasta; la rândul lor, acești electroni vor lovi alte molecule eliberând alți electroni. Numărul de electroni generat în acest fel este, tipic, de câteva milioane de ori mai mare decât numărul electronilor emiși din catod și determină un curent electric în circuitul catod-anod. Curentul poate fi oprit prin reducerea tensiunii aplicate pe electrozii tubului.

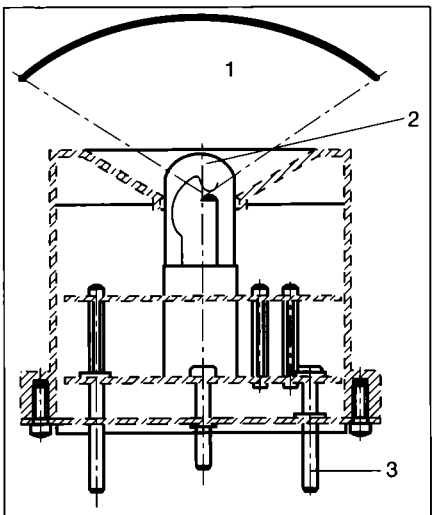


Fig. II.10.7. Structura unui detector de flacără în ultraviolet:
1 - unghi de vizibilitate; 2 - detector de ultraviolete; 3 - pini de comunicație cu soclu.

Într-un detector de radiații ultraviolete, curentul stabilit de recepția unei radiații în spectrul menționat este menținut puțin timp, înainte ca tensiunea să fie redusă și curentul oprit. Imediat după aceea, tensiunea este restabilită, iar radiațiile ultraviolete, dacă persistă, vor genera un nou impuls de curent. Semnalul de ieșire al tubului este preluat de un circuit electronic care este astfel reglat încât să asigure generarea unui semnal de alarmare pentru o flacără standard de laborator.

Un detector de flacără în ultraviolet, tipic, asigură semnalizarea unei flăcări de benzină cu un diametru de 30 cm de la o distanță de 9 m, în maxim 10 s. Unghiul de vizibilitate al unui astfel de detector variază, în funcție de producător și formă constructivă, între 90 și 120°.

După cum se poate observa și din graficul energiei spectrale, fondul de radiație electromagnetică naturală sau artificială nu afectează detectorul de flacără în ultraviolet (fig. II.10.8).

Este important de reținut însă și o serie de limitări ale acestui tip de detector.

Nivelurile ridicate de radiații X sau Gama pot produce declanșarea detectorului de flacără în ultraviolet. Sudura cu arc este o sursă intensă de radiații ultraviolete și trebuie să nu se facă în zonele supravegheate cu detectoare de flacără în ultraviolet, deoarece va genera alarme false.

Trebuie avut în vedere că supravegherea cu detectoare de flacără în ultraviolet este eficientă dacă între focarul de incendiu și detector există o vizibilitate directă. Anumite gaze și vaporii de apă absorb radiațiile ultraviolete și opturează vizibilitatea detectorului. De asemenea, fumul absoarbe radiațiile ultraviolete și, dacă este de așteptat ca acumulările de fum dens să preceadă prezența flăcării, atunci nu se vor folosi detectoare de flacără în ultraviolet.

Trebuie evitată utilizarea detectoarelor în medii neaerisite în care vaporii de ulei sau alte produse petrochimice se pot depune pe sticla traductorului și pot atenua vizibilitatea directă. Dacă totuși, utilizarea detectoarelor de flacără în ultraviolet este necesară într-un astfel de mediu, se vor face curățiri și verificări periodice ale traductoarelor.

10.1.2.5 Detectoare de gaze

Gazele combustibile reprezintă o materie primă utilizată pe scară largă atât casnic, cât și industrial, dar, în același timp un potențial pericol de incendiu. Incendiul provocat prin aprinderea gazelor combustibile are o desfășurare foarte rapidă, uneori sub formă de explozie.

Detectarea incendiului prin măsurarea fenomenelor care-l însoțesc (fum, flacără, creșterea temperaturii) și semnalizarea lui în vederea unei intervenții nu reprezintă o soluție acceptabilă pentru incendiile provocate de aprinderea gazelor. În funcție de viteza de evoluție a incendiului posibil în zona supravegheată se poate apela la o soluție de stingere automată a incendiului sau la detecția apariției pericolului de

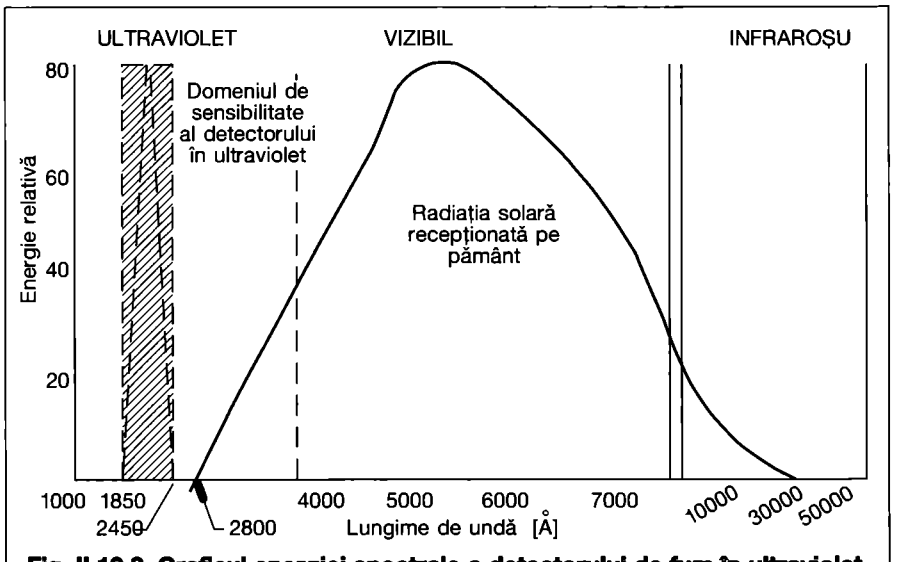


Fig. II.10.8. Graficul energiei spectrale a detectorului de fum în ultraviolet.

incendiu prin sesizarea emisiei de gaze combustibile. Instalațiile de stingere automată realizează detecția incendiului printr-una dintre metodele cunoscute, după care inundă focarul de incendiu, automat, cu un agent de stingere. Aceste instalații sunt prezentate în capitolul 10.1.5.

Detecția gazelor reprezintă soluția optimă acolo unde este posibil să apară gaze combustibile sau amestecuri explozibile, semnalizând pericolul de incendiu înainte de apariția acestuia.

Instalațiile de detecție și semnalizare a gazelor sunt instalații de sine stătătoare utilizate, de regulă, în domeniul industrial sau acolo unde apariția gazelor poate pune în pericol viața oamenilor (prezența gazului metan sau propan în bucătării, centrale termice, subsoluri sau prezența monoxidului de carbon în garaje, parcări subterane etc.).

Existența pericolului apariției scurgerilor de gaze combustibile sau acumulării de monoxid de carbon impune, uneori, integrarea unor detectoare de gaze în instalațiile de detecție și semnalizare a incendiului.

Detectoarele de gaz utilizează elemente de măsură a concentrației de gaz în aer și generează semnale de preavertizare în funcție de nivelurile prestabilite la fabricația echipamentului sau programabile. Detectoarele de gaz de acest tip sunt capabile să genereze, în mod automat, o comandă de utilitate imediată (de exemplu, închiderea electrovalvei de admisie a gazului) la atingerea unui nivel prestabilt de concentrație de gaz.

Detectoarele de gaz care sunt integrate în instalații de detecție și semnalizare a gazelor realizează numai măsurarea concentrației de gaz din aer și transmiterea valorii determinate, de regulă, printr-un semnal unificat (4...20 mA).

Detectorul de gaz cu semiconductor utilizează ca element de măsură un microcip de siliciu pe care au fost depuse două filamente metalice. Unul dintre filamente este utilizat pentru încălzire, celălalt, elementul de măsură, este sensibil la gazul măsurat. Un filtru poros realizat din oțel inoxidabil, sinterizat, protejează suprafața elementului de măsură de contaminarea cu materie lichidă sau solidă și asigură o funcționare sigură într-un mediu cu pericol de explozie.

Gazul difuzează prin filtrul poros sinterizat și ia contact cu suprafața filamentului de încălzire. Filamentul de măsură își modifică rezistența electrică proporțional cu concentrația gazului. Pe măsură ce scurgerea de gaz este eliminată, filamentul de măsură revine la valoarea inițială a rezistenței sale electrice.

Detectorul de gaz catalitic este realizat dintr-o pereche de elemente montate într-o carcasă de metal. Unul dintre elemente este un sesizor catalitic activ, iar celălalt este un element de compensare inactiv. Fiecare element este constituit dintr-un fir subțire de platină înglobat într-o pastilă de oxid de aluminiu. Elementul de sesizare este dotat cu catalizator fiind sensibil la concentrația gazului de măsurat. Ansamblul este protejat de un filtru care are și destinația de a bloca trecerea flăcării. Măsurarea concentrației de gaz se face similar cu detectorul de gaz cu semiconductor.

Detectorul de gaz electrochimic utilizează ca element de măsură o celulă umplută cu electrolit sensibil la gazul ce trebuie măsurat și dotată cu 3 electrozi. Celula utilizează o barieră de difuzie capilară și este protejată de un filtru de oțel inoxidabil.

Gazul difuzează prin filtrul de oțel inoxidabil și bariera capilară. Interacțiunea chimică dintre molecule de gaz și electrolitul din celulă provoacă modificarea rezistenței electrice dintre electrozii de măsură și de referință.

Valorile concentrației de gaz la care sunt etalonate detectoarele sunt următoarele:

- pentru metan: prealarmă la 2% și alarmă la 3%;
- pentru monoxid de carbon: prealarmă la 5% și alarmă la 7%.

10.1.3. Centralizarea semnalizărilor în instalațiile pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiilor

Instalațiile pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiilor sunt formate din mai multe dispozitive și echipamente distribuite pe întreaga zonă care face obiectul supravegherii.

Detectoarele de incendiu sunt amplasate în fiecare punct în care există pericol de incendiu având sarcina de a măsura unul sau mai mulți dintre parametrii caracteristici combustiei. La atingerea unor praguri predeterminate sau preprogramate detectoarele generează o semnalizare de alarmă. Utilizarea eficientă a acestor semnalizări impune centralizarea lor.

Orice instalație pentru detecția și semnalizarea incendiului dispune de un echipament central care are sarcina de a centraliza semnalizările de la toate detectoarele din instalație, de a prezenta aceste semnalizări unui operator (dispecer), împreună cu informații privind localizarea acestora, de a asigura o serie de utilități, generale sau particulare, necesare pentru o exploatare eficientă.

Centralizarea semnalizărilor se realizează printr-o rețea de conexiuni care permit un transfer de informație între echipamentul central și fiecare detector, bidirecțional, asigurând toate condițiile de funcționare (de exemplu, alimentarea electrică centralizată a detectoarelor). În instalațiile pentru detecția și semnalizarea incendiilor sunt utilizate mai multe tipuri de conexiuni, diferențiate prin numărul de informații transmise, redundanța la deranjamente, prețul de cost.

Conexiunea convențională asigură centralizarea unei singure semnalizări de la toate dispozitivele legate la un racord (denumit linie sau grupă). Echipamentul central este prevăzut, de regulă, cu un număr de grupe mai mic decât numărul de detectoare. Aceasta înseamnă că, la un moment dat, de la toate dispozitivele conectate la o linie poate ajunge la echipamentul central o singură informație; în caz de alarmă, la echi pamentul central este semnalizat numai racordul (linia, grupa) de la care s-a generat alarma, dar nu se poate identifica dispozitivul emițător, pentru aceasta fiind nevoie de o deplasare la fața locului (toate detectoarele sunt echipate cu o diodă electroluminiscentă care se aprinde în caz de semnalizare).

Conexiunea clasică se realizează *pe 2 fire* sau *pe 4 fire*, în funcție de modul de alimentare a detectoarelor. Detectoarele conectate *pe 4 fire* au borne separate pentru alimentare și, respectiv, pentru semnalizare. Detectoarele *pe 2 fire* se alimentează și transmit semnalizarea prin numai două borne.

Trebuie remarcat că generarea unei semnalizări de alarmă trece detectorul într-o stare de memorare a alarmei (semnalizarea se menține, LED-ul rămâne aprins) până la anularea tensiunii de alimentare.

Echipamentul central realizează anularea tensiunii de pe fiecare racord (linie) la comanda de inițializare pe care operatorul o dă prin panoul de operare. În cazul conexiunii *pe 4 fire* trebuie avut în vedere ca circuitul de alimentare să realizeze această funcție.

Circuitul de semnalizare este monitorizat permanent pentru a se asigura permanent integritatea canalului de transmitere a semnalizărilor din instalație. Pentru aceasta la capătul fiecărui racord (linie) se conectează un rezistor de o anumită valoare care stabilește un curent de repaus, cunoscut, prin circuit. Rezistența integrată în circuit asigură un curent mult mai mare decât

curentul de alimentare a detectoarelor în stare de repaus. În caz de alarmă detectorul care generează semnalizarea încarcă linia cu un curent suficient de mare ca să poată fi decelat de către echipamentul central.

Scurtcircuitul sau întreruperea circuitului electric al unei linii sunt, de asemenea, detectate de echipamentul central și semnalizate operatorului uman. În anumite condiții, scurtcircuitul sau întreruperea sunt considerate criterii de generare a alarmei de incendiu.

Conexiunea adresabilă asigură transmiterea mai multor tipuri de semnalizări, bidirecțional, între echipamentul central și toate dispozitivele conectate la un racord (linie, buclă). Există mai multe tehnologii de comunicare dedicate conexiunilor adresabile, unele asigurând un număr finit de semnalizări diferite, altele asigurând o transmisie serială clasică (cum este cea utilizată de către echipamentele de calcul).

Conexiunile adresabile permit alimentarea dispozitivelor conectate la linie (pe aceleași 2 fire) fie în 12 V cc, fie în 24 Vcc.

Prin intermediul conexiunii adresabile fiecare dispozitiv conectat la linie este adresat periodic și poate transmite informații către echipamentul central sau poate primi comenzi de la acesta. Fiecare semnalizare de alarmă primită la echipamentul central este asociată cu adresa dispozitivului care a generat-o. Astfel, printr-un singur racord (linie) se pot centraliza informații de la mai multe dispozitive, numărul lor fiind limitat din motive de software sau de considerente privind curenții de alimentare.

Punctul slab al acestor tehnologii de conectare este faptul că, în cazul în care un racord (linie) este scurtcircuitat sau întrerupt, schimbul de informații dintre echipamentul central și dispozitivele conectate la linie nu mai este posibil. În caz de întrerupere nu se mai comunică decât între echipamentul central și ultimul dispozitiv localizat înainte de locul întreruperii, iar în caz de scurtcircuit, atât schimbul de informații cât și alimentarea dispozitivelor conectate la linie sunt compromise.

S-au dezvoltat 2 soluții pentru a se asigura funcționarea, cel puțin parțială, a unei instalații pentru detectarea și semnalizarea incendiilor în caz de scurtcircuit.

Conexiunea paralelă ce se caracterizează prin existența mai multor racorduri (linii) pentru același circuit logic. Astfel centrala BMC616 a firmei Eff-Eff (Germania) asigură 8 circuite fizice (racorduri, linii) pentru un circuit logic de 127 dispozitive adresabile. Fiecare racord are o capacitate de alimentare de 75 mA și o protecție la scurtcircuit care deconectează linia la 100 mA. Conectarea fiecărui dispozitiv la unul dintre cele 8 racorduri se face în funcție de considerente de montare (pentru minimizarea traseelor de cablu) sau de considerente de redundanță. Un scurtcircuit pe unul dintre racorduri duce la scoaterea din funcțiune a unui număr redus de dispozitive, celelalte dispozitive ale circuitului logic funcționând corect. Este de remarcat că traseele de cabluri realizate pentru o conexiune paralelă se adaptează mai bine la structura clădirilor.

Conexiunea buclă (inel) ce se caracterizează prin controlul ambelor capete ale circuitului de către echipamentul central. Pe buclă se conectează toate dispozitivele adresabile. În cazul unei întreruperi, dispozitivele sunt accesate în mod alternativ prin ambele capete ale buclei și fluxul de informații nu are de suferit. În cazul unui scurtcircuit însă, toate dispozitivele ies din funcțiune. Porțiunea de circuit scurtcircuitat trebuie izolată. Pentru aceasta s-au dezvoltat dispozitive specifice numite izolatoare. Integrate într-o buclă, izolatoarele supraveghează circuitele aflate de o parte și de alta și deconectează atunci când detectează un scurtcircuit sau o întrerupere. Prin intermediul izolatoarelor se pot defini tronsoane de buclă, astfel încât în cazul unui scurtcircuit sunt deconectate de la instalație numai dispozitivele de pe tronsonul defect. Detectoarele moderne din ultima generație au integrat două asemenea izolatoare, câte unul pentru fiecare sens.

Conexiunea adresabilă permite atât comunicația dintre echipamentul central și detectoare, cât și utilizarea unor dispozitive auxiliare care permit:

- interfațarea cu echipamente din generații anterioare; se pot conecta dispozitive convenționale la magistrala adresabilă;
- distribuirea echipamentelor de comandă (pentru acționare în caz de alarmă) precum sirene, indicatoare optice, releu pentru deconectarea tabloului electric etc.

10.1.4. Alarmarea în instalațiile de detecție, semnalizare și stingere a incendiului

Scop prioritar al instalațiilor pentru detecția și semnalizarea incendiului, alarmarea reprezintă atât semnalizarea locală și la distanță a detecției unui focar de incendiu, cât și declanșarea unor acționări automate în vederea protejării vieților omenești și limitării desfășurării incendiului.

Alarmarea locală reprezintă semnalizarea la nivelul echipamentului central a detecției incendiului de către un detector automat sau a apăsării unui buton, destinat avertizării asupra existenței unui incendiu, de către un operator. Alarmarea locală este însoțită, de regulă, de următoarele acțiuni:

- averizarea sonoră la nivelul echipamentului central și în clădire; avertizarea sonoră în clădire poate fi oprită și repornită, temporizată sau continuă;
- avertizarea optică, la nivelul echipamentului central și local, prin indicatorul atașat dispozitivului care a generat semnalizarea (detector sau buton); avertizarea optică la nivelul echipamentului central oferă informații asupra felului semnalizării (automată sau manuală) și a localizării dispozitivului care a generat semnalizarea; avertizarea optică locală, realizată printr-un indicator optic conectat la dispozitivul care a generat semnalizarea și amplasat la vedere, este destinată orientării intervenției pompierilor voluntari sau militari;
- acționarea unor dispozitive speciale destinate facilitării intervenției pompierilor. Mai puțin întâlnite în instalațiile realizate în România, dispozitivele speciale menționate facilitează intervenția rapidă a pompierilor care pot acționa chiar în absența proprietarilor clădirii.

Dintre aceste dispozitive speciale menționăm:

- panoul de informare pentru pompieri, care reprezintă un panou standard, cunoscut de pompieri, de la care aceștia să capete informațiile necesare privind incendiul în desfășurare; varietatea de echipamente centrale de semnalizare a incendiilor face dificilă cunoașterea lor de către pompieri;
- cutie cu cheile ușilor încăperilor din clădire - această cutie este, în general, blocată (încuiată) și se deblochează automat numai în caz de incendiu; forțarea acestei cutii (prin spargere, perforare etc.) este detectată de un circuit dedicat, conectat la instalația de semnalizare a efracției;
- cutia cu documentația clădirii, cu funcționare similară cu cea prezentată mai sus;

- înscrierea datelor principale privind alarmarea (data și ora când s-a petrecut evenimentul, felul și localizarea semnalizării) în jurnalul de evenimente al echipamentului central și, după caz, în jurnalul listat de imprimanta sistemului.

Alarmarea la distanță reprezintă transmiterea semnalizării la unitatea de pompieri, în vederea asigurării unei intervenții prompte pentru limitarea efectelor incendiului detectat.

Alarmarea la distanță poate utiliza dife-

rite canale de transmisie, precum liniile telefonice comutate sau închiriate, canale radio sau circuite fizice dedicate. În țara noastră nu există o rețea completă de preluare a semnalizărilor la unitățile de pompieri. Există totuși circuite BC (circuite fizice cu alimentare din dispeceratul pompierilor) între unele unități de pompieri și clădirile mai vechi. Avantajul acestor circuite este acela că sunt destinate numai sarcinii de transmitere a alarmei și că pot fi monitorizate permanent, astfel încât orice defecțiune apărută este adusă, imediat, la cunoștința factorilor interesați.

Având în vedere faptul că primirea unei alarmări declanșează deplasarea imediată a pompierilor la clădirea de la care a pornit semnalizarea, la nivelul echipamentului central al instalației pentru detecția și semnalizarea incendiului există un circuit dedicat prelucrării acestei semnalizări.

Acest circuit tratează diferit transmiterea alarmei pe durata programului de activitate al instituției supravegheate și, respectiv, în afara programului de activitate:

- pe durata programului de activitate, când instalația pentru detecția și semnalizarea incendiului este supravegheată local, transmiterea alarmării la distanță se face temporizat; temporizarea numită „de informare" permite pompierului local să analizeze la fața locului existența incendiului. Dacă semnalizarea nu este anulată până la epuizarea temporizării, alarmarea se transmite la distanță. Acolo unde este necesar (în clădiri de mari dimensiuni), se pot amplasa butoane de la care timpul de informare poate fi relansat în vederea clarificării existenței incendiului;
- în afara programului de activitate alarma este transmisă imediat la pompieri.

Alarma manuală este, de asemenea, transmisă imediat la pompieri.

Trecerea între cele două regimuri de funcționare (activitate-repaus, zi-noapte) se face manual sau automat după ceasul intern al echipamentului central.

Acționările automate în caz de alarmă au scopul de a proteja oamenii și valorile și de a limita desfășurarea incendiului. Pot fi enumerate mai multe tipuri de acționări care trebuie incluse într-o instalație pentru detecția și semnalizarea incendiului în funcție de configurația clădirii, de instalațiile aflate în dotarea clădirii (alimentare electrică, climatizare-ventilație, echipamente electrice etc.), de valorile ce trebuie protejate, de necesitățile de limitare a extinderii incendiului.

Ușile antipanică sunt anumite uși ale clădirii, blocate, în mod normal, care deschid căi de evacuare numai în caz de incendiu. Ușile antipanică sunt echipate cu broaște electrice sau electromagneți care le mențin blocate în mod normal. Declanșarea unei alarme de incendiu comandă deblocarea acestor uși. Din acest moment ușile pot fi folosite pentru evacuarea oamenilor și bunurilor materiale.

Un exemplu tipic îl reprezintă clădirile moderne în care, pentru accesul normal, sunt folosite numai lifturile, accesul la scară fiind blocat de uși antipanică. În caz de incendiu, aceste uși sunt deblocate automat, cu atât mai mult cu cât utilizarea lifturilor nu mai este recomandată.

Ușile antifoc au rolul de a separa o încăpere sau un grup de încăperi de restul clădirii în vederea limitării extinderii incendiului. Funcționarea ușilor antifoc este inversă ușilor antipanică, ele fiind blocate, automat, la semnalizarea unui incendiu. Echipate asemănător cu ușile antipanică, ușile antifoc sunt, ele însele, rezistente la foc pentru o anumită durată. Ușile antifoc sunt utilizate numai acolo unde căile de evacuare sunt asigurate pe alte trasee.

Acționarea instalațiilor electrice în caz de semnalizare a incendiului se referă, de regulă, la deconectarea automată a alimentării electrice în zona implicată, în vederea eliminării unei posibile cauze de întreținere a focarului. Deconectarea este destinată, de asemenea, protejării echipamentului electric care poate fi deteriorat de incendiul în desfășurare.

Acționarea instalațiilor de climatizare-ventilare are rolul de a opri circulația aerului care poate facilita extinderea incendiului sau intoxicarea cu fum a oamenilor prezenți în clădire.

Comanda automată pentru evacuarea fumului și a gazelor fierbinți are rolul de a proteja oamenii și valorile materiale în prima fază de desfășurare a incendiului, până la intervenția pompierilor.

Incendierea materialelor utilizate în construcțiile moderne produc degajări puternice de fum și gaze toxice. Acumularea fumului și gazelor toxice pe căile de evacuare pun în pericol viața oamenilor prin inducerea panicii și sufocare. Creșterea temperaturii poate duce la aprinderea generalizată a tavanelor false sau poate pune în pericol structurile metalice.

Deschiderea automată a căilor de evacuare a fumului și gazelor fierbinți (ferestre, clapete etc.) limitează efectele de mai sus. La sosirea pompierilor aceștia pot închide căile de evacuare, reducând astfel aportul de oxigen în vederea creșterii eficienței intervenției.

10.1.5. Stingerea automată a incendiului

Principalul deziderat în cazul apariției unui incendiu este stingerea lui și diminuarea urmărilor nefaste care pot periclita viața oamenilor și integritatea bunurilor materiale.

Acolo unde desfășurarea incendiului este suficient de lentă astfel încât intervenția pompierilor sau chiar a oamenilor aflați la fața locului să limiteze urmările, se utilizează instalații de semnalizare a incendiului.

Dacă desfășurarea incendiului este rapidă și de mare amploare punând în pericol activitatea și viața oamenilor sau valori materiale mari este recomandată instalarea unui echipament de stingere automată a incendiului. Recomandat de faptul că ciclul de detecție-semnalizare-stingere a incendiului se realizează integral, acest tip de instalații este impus de normative și este solicitat de pompieri pentru a aviza activități cu pericol de incendiu.

10.1.5.1 Agenți de stingere

Pentru stingerea incendiilor se utilizează ca agenți de stingere: apa sub formă de jet sau apă pulverizată, bioxidul de carbon, azotul, substanțe speciale etc.

Componente ale instalației de stingere automată a incendiului cu bioxid de carbon

Comanda declanșării inundării cu bioxid de carbon este emisă de o instalație de semnalizare a incendiului. Semnalizarea se poate face atât automat, prin intermediul a cel puțin două detectoare, cât și manual, prin intermediul unui buton. Comanda automată este precedată de o fază de avertizare în care persoanele aflate la locul incendiului trebuie să părăsească zona. Durata acestei faze este reglabilă, de regulă, între 30 și 60 s. Comanda efectivă se realizează electric și/sau pneumatic și presupune deschiderea, în prealabil, a robinetului de linie corespunzător (deversarea bioxidului de carbon înainte de deschiderea robinetului de linie duce la blocarea acestuia).

Deși bioxidul de carbon este numai slab toxic, atunci când se găsește în concentrația necesară pentru stingerea unui incendiu poate provoca pierderea cunoștinței sau chiar moartea, acțiunea sa fiind mai degrabă legată de un efect de sufocare. De aceea normativul ID49 impune funcționarea unei instalații de stingere a incendiului cu bioxid de carbon după următoarele regimuri:

- regim automat - numai dacă în încăperea respectivă nu se află oameni;
- regim normal manual - acționare de

la buton, prin intermediul instalației electrice;
- regim manual - declanșare fără utilizarea instalației electrice; operatorul va acționa succesiv, manual, robinetul de linie și, apoi, pârghiile de declanșare a buteliilor.

Comanda electrică este similară cu cele prezentate anterior, cu diferența că la unele instalații, se declanșează mai multe cicluri succesive deversare-pauză, în vederea consolidării straturilor succesive de spumă.

Instalație de stingere cu înlocuitori de halon

Înlocuitorii de halon sunt produși de sinetză eficienți în incendii în spațiile în care prezența umană este posibilă sau probabilă. Aceste instalații sunt caracterizate de:
- concentrații de stingere sub 10 %;
- presiune de stocare sub 50 atm;
- nu atacă stratul de ozon;
- sunt sigure pentru oameni la concentrațiile de stingere.

Instalații de stingere cu gaze inerte

Gazele inerte sau amestecurile de gaze inerte intră în categoria agenților de stingere „curați", permiși a fi utilizați în spații ocupate.

Gazele cele mai folosite sunt:
- azotul,
- argonul,
- bioxidul de carbon.

Principiul de stingere constă în deversarea în spațiul de stins a gazului sau amestecului de gaze într-o cantitate suficientă astfel încât procentul de oxigen din acel spațiu să fie redus la valori de 12 % sau mai mici. La aceste valori reacția de oxidare încetează, astfel că incendiul nu mai este înteținut.

Presiunea de stocare este ridicată iar volumul de gaz deversat depășește, în mod uzual, 40 % din volumul de stins. Cantitatea de gaz fiind mai mare decât în cazul înlocuitorilor de haloni numărul de recipiente de stocare este mare. Atenție sporită trebuie acordată purității agentului de stingere, deoarece prezența vaporilor de apă poate produce, la deversare, dopuri de gheață.

10.1.5.2 Tipuri de instalații

Instalațiile de stingere automată a incendiului sunt echipamente caracterizate prin grad mare de disponibilitate, fiabilitate, siguranță. Declanșarea unei asemenea instalații se face foarte rar și nu trebuie să dea greș, altfel pagubele pot fi irecuperabile.

Orice instalație de stingere automată respectă o secvență simplă de acțiuni atunci când este declanșată.

Detecția incendiului se realizează cu detectoare adecvate tipului de incendiu supravegheat, de regulă, prin coincidența a două semnalizări de la dispozitive diferite, amplasate în aceeași cameră. Detecția poate fi și o semnalizare manuală provocată de un operator.

Avertizarea, optică și sonoră, are rolul de a provoca evacuarea persoanelor aflate la locul de deversare, în special, pentru acei agenți de stingere a căror prezență în atmosferă pune în pericol integritatea oamenilor.

10.1.6. Proiectarea instalațiilor pentru detectarea, semnalizarea și stingerea incendiului

10.1.6.1 Dimensionarea supravegherii

Proiectarea instalațiilor pentru detecția și semnalizarea incendiului este reglementată prin normative naționale și internaționale. Unificarea normativelor europene (realizată sau în curs de realizare în toate țările europene) impune o standardizare a dimensionării acestor instalații. Considerentele de proiectare prezentate în continuare sunt în conformitate cu normativul european EN-54.

Sfera de supraveghere

Detecția incendiului trebuie prevăzută în toate încăperile, puțurile pentru ascensoare, canalele de cabluri (dacă sunt vizitabile), instalațiile de climatizare, camerele și echipamentul industrial de orice fel, zonele din tavanele intermediare sau sub podele false. Sunt exceptate grupurile sanitare, canalele de cabluri nevizitabile, încăperile echipate cu instalații de stingere automată a incendiului, tavanele intermediare (dacă înălțimea lor este mai mică de 80 cm, nu conțin conducte electrice de forță, puterea incendiului este sub 25 MJ/m^2 și nu au volume limitate cu suprafață mai mare de 10X10 m^2).

În cazul în care o supraveghere completă a clădirii este considerată prea costisitoare, trebuie realizată o supraveghere a incendiului în cel puțin următoarele locuri:
- căile de evacuare;
- zonele în care se află persoane puse în pericol de apariția unui incendiu în vecinătate (bolnavi, invalizi etc.);
- zonele în care există pericolul apariției unui incendiu sau sunt depozitate materiale a căror aprindere poate extinde focarul astfel încât să pericliteze viața persoanelor;
- camerele destinate odihnei astfel încât să permită avertizarea unei persoane adormite;
- camerele cu echipamente electrice.

Alegerea tipului de detector

Alegerea tipului de detector pentru fiecare zonă supravegheată se face ținând cont de următoarele criterii:

Dezvoltarea incendiului
- Pentru incendiile cu dezvoltare limitată (emisie de fum, puțină căldură, puține flăcări) se utilizează detectoare de fum.
- Pentru incendiile cu dezvoltare rapidă (căldură puternică, radiație puternică și mult fum) se pot utiliza detectoare de fum, termice, de flacără sau combinații. Dacă dezvoltarea incendiului este foarte rapidă, este recomandat să se prevadă o instalație de stingere automată a incendiului.
- Dacă apariția fumului în faza incipientă a incendiului poate afecta persoane sau valori, se vor utiliza metode de detecție ultrarapidă a fumului.

Înălțimea încăperii

Cu cât încăperea este mai înaltă, cu atât distanța dintre focarul de incendiu și detector este mai mare și deci timpul de răspuns și zona de concentrație uniformă a fumului sunt mai mari. Corespondența dintre tipul detectorului și înălțimea maximă la care poate fi montat este prezentată în tabelul II.10.1.

Condițiile de mediu

Pentru fiecare tip de detector se vor avea în vedere limitările privind condițiile de mediu (intervalul de temperatură, viteza maximă a curenților de aer, umiditatea, fumul, praful, aerosoli, iluminarea ambiantă).

Dimensionarea numărului de detectoare

Numărul detectoarelor se dimensionează în funcție de geometria spațiului (suprafață, înălțime, forma tavanului) în conformitate cu tabelul II.10.2.

Dacă un tavan (acoperiș) are înclinări diferite, pe porțiuni, pentru dimensionare se consideră înclinarea cea mai mică.

Tabelul II.10.1. Tipuri de detectoare în funcție de înălțimea încăperii

Tipul de detector	Înălțimea încăperii [m]
termic – clasa I	< 8
termic – clasa II	< 6
termic – clasa III	< 4,5
de fum	< 11 < 25 în două straturi
de flacără	< 20
Detector de fum optic prin opturare	40 (numai dacă există posibilitatea de intervenție în maximum 5 min de la semnalizare)

Zonele de utilitate specială (centre de calcul, centrale de telecomunicații etc.) trebuie tratate în mod special, după cum urmează:
- se definesc următoarele zone de interes:
  zona 1 - încăperea echipamentelor;
  zona 2 - încăperea operatorilor;
  zona 3 - încăperi limitrofe zonelor 1 și 2;
  tavanul intermediar și podeaua intermediară, existente în zonele 1 și 2, sunt tratate independent;
- pentru supraveghere se vor utiliza detectoare de fum; numărul detectoarelor va fi dimensionat în conformitate cu tabelul II.10.3.

Pentru camerele ale căror tavane sunt compartimentate de grinzi se aplică următoarele reguli:
- dacă grinzile au o grosime de maximum 200 mm, în cazul utilizării detectoarelor termice, sau maximum 350 mm în cazul utilizării detectoarelor de fum, atunci acestea nu se iau în considerare.
- dacă suprafața alveolei determinată de grinzi este mai mare sau egală cu 0,6 din suprafața normală de supraveghere, atunci în alveolă va fi prevăzut un detector.
- dacă suprafața alveolelor este mai mică de 0,6 din suprafața normală de supraveghere, se va prevedea un detector la mai multe alveole, în conformitate cu tabelul II.10.4.
- dacă grinzile au o grosime mai mare de 800 mm, în fiecare alveolă va fi prevăzut un detector

Amplasarea detectoarelor trebuie să respecte următoarele distanțe limită:
- distanța dintre detectoare și pereți nu trebuie să fie mai mică decât 0,5 m;
- distanța dintre detectoare și bunurile materiale depozitate în încăpere nu trebuie să fie mai mică decât 0,5 m;
- detectoarele termice se vor monta întotdeauna direct pe tavan;
- detectoarele de fum se vor distanța de tavan conform tabelului II.10.5.

10.1.6.2 Calculul rețelei de centralizare a semnalizărilor

Rețeaua de centralizare a semnalizărilor are rolul de a prelua informațiile de la detectoare, butoane de avertizare și alte dispozitive auxiliare (în cazul conexiunilor adresabile) și a le transmite către echipamentul central în condiții corespunzătoare de corectitudine.

În acest sens, rețelele de centralizare a datelor sunt realizate cu cabluri ecranate sau neecranate, în general, cu perechi torsadate, în funcție de tehnologia utilizată și de circuitele de intrare ale echipamentului central. Cerințele tehnice principale se referă la reducerea perturbațiilor electrice și electromagnetice precum și la reducerea pierderii de tensiune pe cabluri în vederea asigurării unei alimentări corespunzătoare tuturor detectoarelor din instalație.

Rețelele de centralizare a semnalizărilor sunt verificate permanent de echipamentul central.

Calculul unei rețele de centralizare a semnalizărilor se face prin configurarea minimală a traseelor de cabluri și calcularea diametrului conductoarelor utilizate, în funcție de pierderea de tensiune maximum acceptată la cel mai îndepărtat detector de pe fiecare tronson.

Calculul unui tronson se face astfel:
- se calculează consumul normat pe tronson, considerându-se un număr acceptat de detectoare în stare de alarmă, I_{tr};
- se calculează rezistența maximă acceptată pentru conductor astfel încât pierderea de tensiune să nu depășească limita maximă admisă:

$R = U_{adm} / I_{tr}$;
- se calculează secțiunea necesară a conductorului, după formula

$A_{nec} = 2\ L/RK$,

unde:

Tabelul II.10.2. Caracteristicile de supraveghere pentru detectoarele de fum și termice

Suprafața camerei [m²]	Tip detector	Înălțime cameră [m]	Suprafața maximă de supraveghere (A) [m²] Distanța maximă acceptată până la un detector (D) [m] Unghi tavan [grade sexagesimale]					
			<15°		15...30°		>30°	
			A	D	A	D	A	D
<80	de fum	<12	80	6,7	80	7,2	80	8,0
>80	de fum	<6	60	5,8	80	7,2	100	9,0
	de fum	6...12	80	6,7	100	8,7	120	9,9
<30	termic cl.I	<7,5						
	termic cl.II	<6	30	4,4	30	4,9	30	5,5
	termic cl.III	<4,5						
>30	termic cl. I	<7,5						
	termic cl. II	<6	20	3,6	30	4,9	40	6,3
	termic cl. III	<4,5						

Tabelul II.10.3. Condițiile de supraveghere pentru detectoarele de fum

Felul părților de construcție	Suprafața maximă de supraveghere (A) [m²] Distanța maximă acceptată până la un detector (D) [m] Zona 1		Rezistența la foc a peretelui de separare dintre zonele 1 și 2	Zona 2		Rezistența la foc a peretelui de separare dintre zonele 2 și 3	Zona 3
	A	D		A	D		A
Tavan intermediar	40	4,73	>F 30-A	60	5,8	>F 90-A	Nu e cazul
Încăpere	25	3,7		40	4,73		
Podea intermediară	40	4,73		60	5,8	<F 90-A	Conform tab. II.10.2
Tavan intermediar	40	4,73	<F 30-A	40	4,73	>F 90-A	Nu e cazul
Încăpere	25	3,75		25	3,75		Nu e cazul
Podea intermediară	40	4,73		40	4,73	<F 90-A	Conform tab. II.10.2

L - este lungimea cablului [m],
K - conductivitatea specifică a conductorului [m/Ωm^2].

Dacă se utilizează un cablu standard, pentru obținerea secțiunii necesare se pot lega în paralel mai multe conductoare ale acestuia.

10.1.6.3 Metoda de reducere a alarmelor false

Alarmarea în caz de incendiu este scopul principal pentru care sunt proiectate instalațiile pentru detecția și semnalizarea incendiului. Alarmarea în caz de incendiu declanșează o serie întreagă de activități de maximă prioritate care trebuie să se desfășoare fără întârziere și care implică intervenția pompierilor militari. De aceea alarmele false reprezintă o posibilă sursă de cheltuieli nejustificate și de stres, afectând activitatea desfășurată în clădirea respectivă.

Reducerea alarmelor false reprezintă una dintre sarcinile principale ale fazei de proiectare și implică atât corecta dimensionare a supravegherii, alegerea detectoarelor moderne care conțin circuite speciale de reducere a alarmelor false, cât și utilizarea unor funcțiuni de prelucrare a semnalizărilor, disponibile la nivelul echipamentului central.

Memorarea intermediară a semnalizării

Prin această metodă, alarmarea este generată la a doua semnalizare. Prima semnalizare declanșează o temporizare pe durata căreia se așteaptă o a doua semnalizare de la același detector. Numai dacă o a doua semnalizare sosește de la detector, înainte de terminarea temporizării, se generează alarmarea.

Această metodă elimină alarmele false determinate de cantități de fum sau praf, apărute accidental și care nu se mențin în timp.

Temporizarea este programabilă și nu poate depăși câteva minute.

Pentru detectoarele care conțin circuite speciale de reducere a alarmelor false nu se recomandă utilizarea acestei metode de reducere a alarmelor false.

Alarmarea corelată a două semnalizări

Prin această metodă alarmarea este generată numai dacă două detectoare (sau grupe în cazul conexiunii convenționale) semnalizează, succesiv, în cursul unui interval de timp determinat. Semnalizarea transmisă de unul dintre cele două detectoare, declanșează o temporizare pe durata căreia se așteaptă o semnalizare de la celălalt detector. Numai dacă sosește o semnalizare de la cel de al doilea detector înainte de terminarea temporizării, se generează alarmare.

Cea de a doua semnalizare poate fi atât detecție de incendiu, cât și o întrerupere sau o scurtcircuitare a conexiunii (desfășurarea unui incendiu poate duce la deteriorarea circuitelor).

Temporizarea este programabilă și nu poate depăși câteva minute.

Această metodă de eliminare a alarmelor false verifică validitatea semnalizării atât în timp cât și în spațiu.

Alarmarea corelată a două semnalizări dintr-un grup desemnat

Această metodă este similară cu alarmarea corelată a două semnalizări, numai că la decizie participă două detectoare oricare dintr-o grupă prestabilită. Metoda este recomandată pentru încăperile cu suprafață mare.

Tabelul II.10.5. Condiții de montare a detectoarelor de fum la tavan

Înălțimea încăperii [m]	Distanța necesară între detector și tavan [mm]					
	Înclinare tavan sub 15°		Înclinare tavan între 15° și 30°		Înclinare tavan peste 30°	
	minim	maxim	minim	maxim	minim	maxim
<6	30	200	200	300	300	500
6...8	70	250	250	400	400	600
8...10	100	300	300	500	500	700
10...12	150	350	350	600	600	800

Tabelul II.10.4. Condiții de montare a detectoarelor în funcție de structura tavanului

Tipul de detector	Suprafața normată de supraveghere [m^2]	Suprafața alveolei [m^2]	Numărul de alveole la care se montează un detector
Detector termic	20	>12	1
		8...12	2
		6...8	3
		4...6	4
		<4	5
	30	>18	1
		12...18	2
		9...12	3
		6...9	4
		<6	5
Detector de fum	60	>36	1
		24...36	2
		18...24	3
		12...18	4
		<12	5
	80	>48	1
		32...48	2
		24	3
		16...24	4
		<16	5

10.1.7. Exploatarea instalațiilor pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiului

Normativele impun beneficiarului unei instalații o serie de măsuri care să sprijine activitatea de protecție la incendiu și, implicit, utilizarea unei instalații pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiilor. Având la bază proiectul de instalare și cărțile tehnice ale furnizorilor de echipamente, se întocmesc, afișează și prelucrează instrucțiuni detaliate și clare, privind utilizarea acestor instalații, în conformitate cu prevederile normativelor în vigoare.

Aceste instrucțiuni vor indica:
- modul de evacuare și sarcinile personalului în caz de incendiu;
- modul de exploatare și întreținere a instalației.

Periodic se fac exerciții de alarmare prin care se urmăresc cunoașterea semnalizărilor de alarmare și realizarea corectă a operațiilor de evacuare.

Pentru obiective de mai mare anvergură instalațiile pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiilor sunt mult mai complexe și nu întotdeauna pot fi cunoscute în detaliu de personalul utilizator. De aceea aceste instalații trebuie să ofere utilizatorului o serie de funcțiuni de utilizator prin care acesta să cunoască, în orice moment, starea de fapt în întregul obiectiv, să poată interveni eficace în caz de eveniment.

Avertizarea și prezentarea informațiilor

Sarcina principală a instalațiilor pen-

tru detecția, semnalizarea și stingerea incendiului este avertizarea în cazul detectării unui început de incendiu. Avertizarea trebuie realizată, atât la nivelul clădirii, cât și la postul de supraveghere. Pentru instalațiile de complexitate medie și mare trebuie respectate următoarele cerințe:

• Semnalizările sunt însoțite de afișarea unui mesaj în text clar, în limba română, care va preciza localizarea detectorului care a generat-o, felul acestuia (detector automat sau buton), data și ora semnalizării. Se va avea în vedere ca, în cazul semnalizărilor multiple, toate informațiile menționate să fie accesibile utilizatorului. Sistemul va permite memorarea a cel puțin 100 de semnalizări, astfel încât să facă posibilă o anchetă post eveniment.

Pentru instalațiile de mari dimensiuni se utilizează dispecerizarea informațiilor pe calculator. Principalul aport de utilitate adus de această metodă este reprezentarea grafică sub formă de sinoptic care permite localizarea semnalizării (semnalizărilor) pe planurile obiectivului. Graficul sinoptic permite, de regulă, mai multe niveluri de detaliere (planul general al complexului, planul fiecărei clădiri, planul fiecărui nivel din clădire etc.) și conține simboluri care își schimbă forma și/sau culoarea în funcție de starea funcțională a dispozitivului din teren asociat (în supraveghere, alarmat, deranjat, murdar etc.)

• Semnalizarea detecției unui incendiu sau a alertării manuale va fi însoțită de declanșarea unei alarme sonore.

Sistemul va permite alarmarea sonoră de incendiu parțial sau în tot obiectivul supravegheat. Tonalitatea de alarmă va fi astfel aleasă încât să nu se confunde cu alarma sonoră de efracție sau alte alarme sonore.

Alarma sonoră va putea fi suspendată de către utilizator și repornită la dorință. Alarma sonoră neanulată va fi activă pentru o perioadă de timp nelimitată sau limitată, programată anterior.

Alarma optică generată de semnalizările de incendiu poate fi anulată de la punctul de pază, după clarificarea evenimentului.

Alarmarea la incendiu este însoțită de acționări automate care sunt semnalizate de sistemele respective (tablou electric, climatizare, ferestre antifoc etc.)

• Instalația permite o serie de funcții de autotestare și autoetalonare precum:
- semnalizarea atingerii gradului critic de murdărire a detectorilor;
- reglarea pragurilor de decizie atât pentru starea de alarmă cât și pentru o stare de prealarmă;
- verificarea permanentă a prezenței detectoarelor și butoanelor și a integrității cablurilor de conexiune.

• Instalația permite o serie de funcții de utilitate generală precum suspendarea (reactivarea) unor semnalizări datorită apariției unor condiții generatoare de alarme false controlate sau defectării unui dispozitiv.

Modul de intervenție și conlucrarea cu instalația

Sarcina principală a instalației pentru semnalizarea incendiului este avertizarea în caz de incendiu, iar sarcina principală a utilizatoului acestei instalații este intervenția directă sau indirectă (coordonare a intervenției) pentru stingerea acestuia. Din acest punct de vedere conlucrarea cu instalația de semnalizare trebuie să asigure o informare rapidă, corectă și clară asupra incendiului, efectuarea unor acționări ajutătoare pentru limitarea incendiului, avertizarea persoanelor care activează în obiectiv.

În plus, utilizatorul (dispecerul) trebuie să cunoască mijloacele de intervenție împotriva incendiului, localizarea lor și modul de utilizare, persoanele care trebuie să intervină și mijloacele de comunicare cu acestea (numere de telefon, adresa etc.), alte informații ajutătoare (amplasarea cheilor clădirii, planurile clădirii, căile de acces pentru pompierii militari etc.). Instalațiile moderne pentru semnalizarea incendiului asigură automat o serie dintre aceste activități (apelarea telefonică sau „paging" a persoanelor care trebuie să intervină) și pun la dispoziția utilizatorului informațiile necesare (amplasarea mijloacelor de intervenție care trebuie utilizate pentru eficiență maximă, imprimarea planurilor necesare pentru intervenție, deblocarea cutiilor blindate care conțin cheile zonei afectate etc.) în funcție de felul și localizarea evenimentului.

Arhiva tuturor informațiilor și operațiilor efectuate de utilizator permit analiza post-eveniment și sprijină activitatea de eficientizare a intervenției.

Întreținerea instalației

Gradul mare de fiabilitate a instalațiilor moderne, precum și gradul mare de automatizare a echipamentelor utilizate simplifică foarte mult metodologia de întreținere a acestora. Pe de altă parte, procentul redus de evenimente apărute în viața reală, precum și necesitatea imperioasă ca instalația să funcționeze corect, în caz de incendiu, impun organizarea frecventă de verificări, simulări sau operații de întreținere preventivă.

Verificările și operațiile de întreținere preventivă sunt prezentate de fiecare producător de echipamente, în cartea tehnică a dispozitivului. Funcțiunile de (auto)diagnosticare, (auto)etalonare, preavertizare, existente la instalațiile moderne completează efortul de întreținere. Pentru instalațiile de stingere automată a incendiilor trebuie avute în vedere caracteristicile și recomandările de exploatare și întreținere a agenților de stingere.

Simulările solicită funcționarea corectă a instalațiilor pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiului. Unele instalații dețin funcțiuni speciale pentru regimurile de simulare în vederea evitării unor intervenții nesolicitate. Pentru instalațiile de stingere automată a incendiului se recomandă efectuarea unei probe de verificare completă (inclusiv, deversarea agentului de stingere) cel puțin o dată pe an.

O activitate de importanță deosebită este verificarea și repunerea în funcționare a instalației după producerea unui incendiu. Această activitate poate cuprinde refacerea părților deteriorate ale instalației, verificarea tuturor echipamentelor supuse condițiilor de incendiu, verificarea globală a instalațiilor. Pentru instalațiile care conțin echipamente de stingere automată a incendiului ce au fost declanșate în cursul evenimentului trebuie avută în vedere reumplerea, cu maximă urgență, a containerelor cu agent de stingere. Pentru perioada în care se face această operație, instalația va fi asigurată numai cu bateria de rezervă.

Exploatarea corectă a instalațiilor pentru detecția, semnalizarea și stingerea incendiului asigură o corectă amortizare a efortului investițional, permite desfășurarea eficientă și neîngrădită a activității în obiectivul asigurat, limitează, până la anulare, efectele unui sinistru, indiferent de condițiile care l-ar produce.

10.2. Instalații pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii

10.2.1. Scopul și necesitatea instalațiilor pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii; reglementări în vigoare

10.2.1.1 Domeniile de aplicație și funcțiile instalațiilor pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii

Cerințele unui sistem de alarmă (fig. II.10.9) bine proiectat și realizat sunt:
- să reacționeze sigur într-un timp cât mai scurt;
- să aibă o rată minimă a alarmelor false;
- să nu poată fi anihilat sau bruiat;
- să fie deschis pentru dezvoltări ulterioare;
- să anunțe în timp util instituțiile desemnate pentru intervenție astfel

încât efectele efracției să fie limitate;
- să aibă posibilitatea de analiză post-eveniment în vederea recuperării unor prejudicii și de îmbunătățire a metodelor de prevenire a evenimentelor.

Sistemul de semnalizare a efracției și agresiunii depinde de domeniul de aplicație, de valorile care trebuie supravegheate și de reglementarile în vigoare (poliție, societăți de asigurări).

O clasificare a sistemelor, după aceste principii, ar fi pentru:
- locuințe, vile, magazine, depozite; în general, acestea sunt cele mai vizate datorită valorilor deținute și datorită absenței unui personal de pază calificat;
- instituțiile publice;
- întreprinderile industriale;
- locașurile de cultură, datorită obiectelor de patrimoniu pe care le dețin precum și datorită specificului acestora;
- instituțiile bancare, datorită sumelor importante de bani, precum și a altor valori considerabile

În proiectarea, realizarea, utilizarea și perfecționarea unui sistem de securitate se procedează la:
- analiza realistă a riscurilor posibile și costurilor ce pot fi suportate;
- proiectare și acreditare;
- autorizare și asigurare;
- operaționalitate și perfecționare.

Funcțiile supravegherii sunt:
- *supravegherea perimetrală* care va semnala tentativa de pătrundere neautorizată într-o zonă deschisă și alarmarea înainte ca agresorul să ajungă la clădire. Se poate realiza cu:
  - bariere în infraroșu,
  - bariere de microunde,
  - cablu capacitiv,
  - cablu îngropat,
  - cablu microfonic;
- *supravegherea periferică* care va semnala un atac din exterior asupra pereților, geamurilor sau ușilor clădirii, realizând detecția în timpul forțării pătrunderii; se poate realiza cu:
  - detectoare de deschidere a ușilor,
  - detectoare de vibrații,
  - detectoare acustice de geam spart;
- *supravegherea perimetrică* realizează detecția și semnalarea prezenței într-un spațiu delimitat (încăpere, culoar etc.); se poate realiza cu:
  - detectoare pasive cu infraroșu,
  - detectoare cu microunde,
  - detectoare cu ultrasunete,
  - detectoare duale.
- *supravegherea obiectelor* are ca scop supravegherea obiectelor de valoare în cazul vandalizării sau asigură controlul mișcării în jurul obiectelor protejate; se poate realiza cu:
  - detectoare pentru protejarea tablourilor,
  - detectoare de șoc,
  - detectoare de protejare a vitrinelor;
- *alarmarea în caz de efracție.*

10.2.1.2 Reglementări legale în vigoare

Aceste reglementări specifică cerințe, proceduri de testare și criterii de performanță pentru echipamentele de control și avertizare utilizate în detecția efracției pentru sistemele de detecție în cazurile de jaf. Echipamentele pot fi instalate în interiorul sau exteriorul clădirii.

Reglemetările conțin principalele funcții absolut obligatorii pe care trebuie să le îndeplinească toate echipamentele de control și avertizare precum și funcții opționale care, în cazul că sunt folosite, trebuie, de asemenea, să respecte aceste reglementări. Funcțiile aplicate în legătură cu sistemele de control și avertizare la efracție care nu au referire în reglementări pot fi utilizate numai în măsura în care nu este afectată nici una dintre cerințele impuse pentru funcțiile principale:
- Legea nr. 18/1996 privind paza obiectivelor, bunurilor și valorilor;
- Standard European EN501x1-3-1 realizat de CENELEC - Bruxelles;
- VdS realizat de Societatea Asiguratorilor din Germania;
- Norme internaționale CEI/IEC 839-5-x;
- Norme ISR.

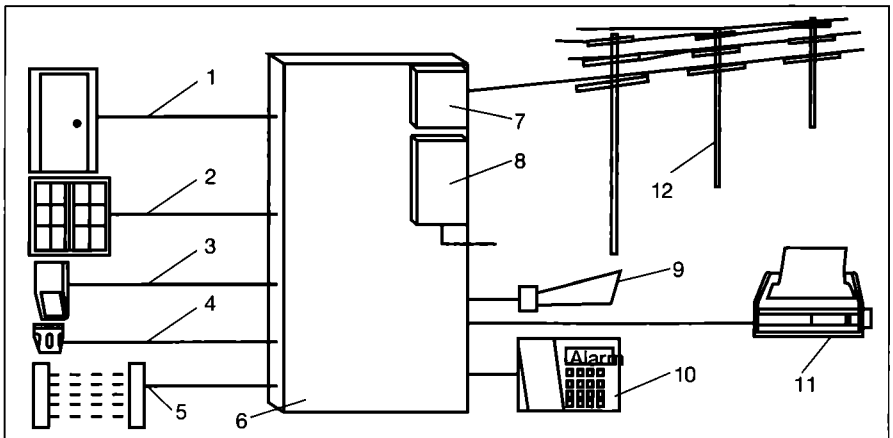


Fig. II.10.9. Structura unui sistem de pază și alarmare:
1 - contacte cu ușa; 2 - detectoare de spargere a geamurilor; 3 - detectoare de mișcare; 4 - detectoare de incendiu; 5 - supraveghere perimetru; 6 - centrala de efracție; 7 - dialer telefonic; 8 - alimentare cu baterie back-up; 9 - sirene; 10 - tastatura de comandă; 11 - imprimanta; 12 - raportare alarmă la poliție cu ajutorul telefonului.

10.2.2. Metode (tehnologii) de detecție a tentativelor de efracție

10.2.2.1 Detecția deschiderii ușilor

• Contacte magnetice

Au fost proiectate pentru a furniza informații sigure despre existența unei uși sau ferestre deschise. Contactele magnetice sunt disponibile în mai multe versiuni: pentru uși și ferestre de interior sau pentru uși și ferestre de exterior, standard sau de înaltă securitate, cu montare aparentă sau îngropată.

Contactul magnetic (fig. II.10.10) este compus din două părți: un comutator magnetic (o lamelă montată într-un tub cu atmosferă rarefiată a cărei poziție se schimbă la aplicarea unui câmp magnetic extern) și un magnet. Ambele componente sunt montate în carcase identice.

Comutatorul magnetic se montează pe tocul ferestrei (pe partea fixă), iar magnetul pe fereastră (pe partea mobilă). Montarea se face pe partea opusă balamalelor și cât mai puțin vizibilă.

• Contacte mecanice

- Contact de deschidere

Au aceeași funcție ca și contactele magnetice. Constructiv, acestea se compun dintr-un comutator mecanic care se montează pe tocul ușii și o tijă de acționare a comutatorului care se montează pe ușă. Deoarece montarea și reglarea este anevoioasă și datorită uzurii care apare în timp, acest tip de contact este din ce în ce mai puțin folosit. El poate fi întâlnit în instalațiile mai vechi, încă în funcțiune.

- Contact cu fir de tracțiune

Acest tip de contact servește pentru supravegherea deschiderilor în clădiri la pătrunderea furișată. Este utilizat în supravegherea unor zone mai greu accesibile cum ar fi cupolele luminatoarelor, orificiile de admisie ale instalațiilor de aerisire etc.

Contactul prin tragere a firului este constituit dintr-un contact lamelar electromecanic care deschide blocul de semnalizare în cazul tracțiunii firului.

Firul din oțel este întins cu ajutorul unor role de ghidare a unui tendon și al unui cârlig de suspensie deasupra deschiderii de supravegheat.

Este recomandabil ca aceste con-

tacte, dispozitive de deviere și fixare terminală să nu poată fi observate din afara zonei de asigurat. Este, de asemenea, recomandabil ca, în cazul unei deteriorări, respectiv, a distrugerii firului, contactele acționate la tracțiune să fie astfel conectate încât să fie declanșată alarma.

• **Contacte inductive**

Sunt folosite pentru supravegherea concomitentă a deschiderii ușilor sau ferestrelor și a spargerii geamurilor.

De la unitatea de prelucrare montată pe tocul ușii sau tocul ferestrei este transmis continuu un semnal către unitatea de semnalizare montată pe partea mobilă a ușii sau ferestrei. Acest semnal este folosit atât pentru alimentarea cu energie a semnalizatorului cât și pentru comunicație. Dacă ușa sau fereastra sunt deschise sau dacă geamul este spart, comunicația se întrerupe și unitatea de prelucrare generează un semnal de alarmă.

10.2.2.2 Detecția agresiunii

Pedala (fig. II.10.11) sau butonul de atac sunt cele mai utilizate în interiorul instituțiilor financiar-bancare și în toate instituțiile unde se lucrează cu elemente de valoare sau cu sume mari în numerar. Pedalele sau butoanele de atac trebuie să fie astfel amplasate încât să fie acționate prin mișcări firești care nu sunt percepute de răufăcător.

Există o mare varietate de modele de butoane și pedale de atac dintre care cele mai răspândite sunt:
- buton de atac mecanic, fără memorie;
- buton de atac cu senzor „reed" fără memorie mecanică;
- buton de atac cu senzor „reed" cu memorie mecanică;
- pedală de atac acționată cu piciorul prin apăsare;
- pedală de atac acționată cu piciorul prin ridicare.

Alarma declanșată este silențioasă și ea trebuie să fie transmisă la un dispecerat local unde trebuie să existe personal specializat și proceduri de intervenție.

10.2.2.3 Detecția mișcării

Detectoare de mișcare în infraroșu (IR)

Semnalizatorul pasiv cu senzor de raze infraroșii este utilizabil pentru supravegherea încăperilor, pentru asigurarea obiectelor sau a traseelor de parcurs.

Detectorul de mișcare în IR (fig. II.10.12) recunoaște radiația de căldură cu o lungime de undă cuprinsă în intervalul 700...1400 nm. Orice modificare a intensității radiației care apare la intrarea în zona supravegheată produce o declanșare a semnalizatorului.

În funcție de sistemul de lentile folosite detectoarele în IR se împart în:
- detectoare cu lentilă Fresnell;
- detectoare cu oglindă.

Detectoarele de mișcare în IR cu lentilă Fresnell

Radiația de raze infraroșii emisă de corpul omenesc este aplicată focalizat printr-un sistem de lentile pe un piroelement.

Suprafața de supravegheat este împărțită, în funcție de sistemul de lentile, în mai multe niveluri, cu zone de supraveghere.

În scopul unei adaptări la cerințele tehnice ale unui caz specific de utilizare pot fi disponibile (în funcție de fabricant) lentile Fresnell cu diverse caracteristici de cuprindere. În funcție de numărul de zone și numărul de nivele pe care acestea sunt împărțite, de unghiul de deschidere pe orizontală și verticală și de raza de acțiune, detectoarele de mișcare în IR (fig. II.10.13) se împart în:
- volumetrice;
- pentru distanțe mari;
- cortină
- de tavan.

Sistemele optice pot fi interschimbate individual chiar la fața locului. Drept accesorii pot fi disponibile sisteme optice (lentile) pentru supravegherea zonelor lungi, a acoperirii orizontale, a acoperirii verticale și a suprafețelor.

O altă categorie a detectoarelor de mișcare în infraroșu o reprezintă detectoarele antimasking. Acestea, prin intermediul unei diode emițătoare în infraroșu, emit periodic impulsuri.

Reflexia naturală de bază a mediului (memorată) este permanent comparată cu reflexia recepționată astfel încât, în momentul acoperirii, apare o modificare a intensității reflexiei, rezultatul fiind semnalizarea tenativei de sabotaj, indiferent de starea de efracție.

Detectoare de mișcare în IR cu oglindă

Fiind tot detectoare în IR, au același principiu de funcționare și aceleași caracteristici cu detectoarele în IR cu lentilă Fresnell deosebirea dintre ele constând în faptul că radiația de raze infraroșii emisă de corpul omenesc este focalizată cu ajutorul unei oglinzi pe un piroelement.

Avantajele folosirii detectoarelor de mișcare în IR sunt următoarele:
- delimitarea domeniilor de acțiune, prin posibilitatea folosirii de diverse sisteme de lentile; prin aceasta există posibilitatea delimitării spațiale a încăperilor, a asigurării obiectelor sau a anulării influențelor perturbatoare ca, de exemplu, radiatoarele de căldură;
- datorită comportamentului pasiv (receptor de radiații), se pot instala în aceeași încăpere mai multe semnalizatoare fără ca acestea să se influențeze reciproc.

Unele detectoare sunt echipate cu un sistem optic dublu, în acest fel se oferă posibilitatea unei supravegheri superioare a încăperilor.

Sistemul electronic de prelucrare este complet capsulat într-o carcasă metalică, ca o măsură de protecție contra influențelor perturbatoare electromagnetice și electrostatice.

La proiectarea unui sistem de pază și alarmare cu detectoare de mișcare în IR trebuie evitată radiația directă a surselor de căldură inconstante ca, de exemplu:
- nu trebuie orientate semnalizatoarele spre radiatoare de căldură, radiatoare de raze infraroșii, aeroterme sau instalații climatice;
- trebuie evitată acțiunea solară și lumina puternică a reflectoarelor asupra detectorului;
- nu trebuie orientat detectorul asupra obiectelor reflectoare (ferestre, suprafețe metalice, oglinzi);
- trebuie evitate turbulențe ale aerului în

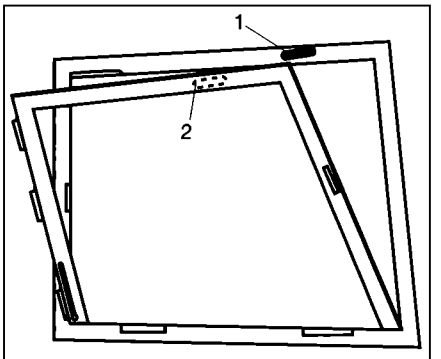


Fig. II.10.10. Montarea unui contact magnetic pe o fereastră:
1 - comutator magnetic; 2 - magnet.

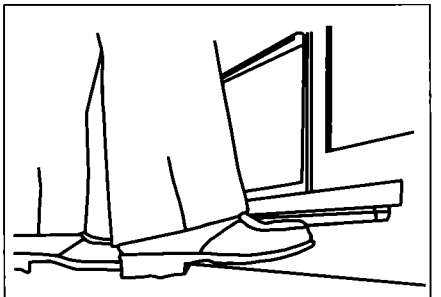


Fig. II.10.11. Amplasarea și acționarea unei pedale de atac.

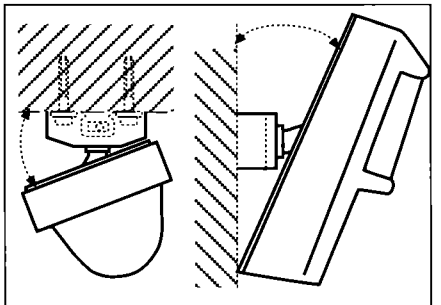


Fig. II.10.12. Montarea unui detector în infraroșu.

apropierea semnalizatorului (suflante, ventilatoare, ferestre deschise etc.).

Detectoarele nu se montează în spatele zidurilor ieșite în afară, coloanelor, perdelelor și altor obiecte asemănătoare care pătrund în zona de supraveghere rezultând o atenuare a supravegherii.

Detectoare de mișcare ultrasonice

Transmit unde ultrasonice cu frecvența de aproximativ 26 kHz prin aer și sunt, din acest motiv, influențate de condițiile de mediu (umiditate, temperatură). Detectoarele ultrasonice funcționează conform efectului Doppler.

Acest efect constă în modificarea frecvenței de oscilație dacă sursa de oscilație se mișcă în raport cu un punct de referință.

Emițătorul transmite un semnal de aproximativ 26 kHz în volumul care trebuie protejat. Undele sonore sunt reflectate de podea, pereți, tavan și sunt colectate de un receptor aflat în componența detectorului ultrasonic. În absența unui obiect în mișcare, frecvența receptată este egală cu cea emisă. Dacă există o modificare a poziției unui obiect sau a unei persoane pe direcția detectorului, valoarea frecvenței recepționate se va modifica în conformitate cu principiul Doppler, iar alarma va fi generată. La instalare, detectoarele ultrasonice vor fi astfel dispuse încât să fie evitate alarmele false generate de vibrația pereților pe care acestea sunt montate. Rata alarmelor false, datorată animalelor mici, poate fi redusă prin modificarea sensibilității receptorului.

Înaintea instalării unui detector ultrasonic se recomandă verificarea zonei pentru identificarea eventualelor semnale ultrasonice perturbatoare. Detectorul ultrasonic se montează întotdeauna astfel încât calea de pătrundere a eventualului intrus să fie pe direcția detectorului. Dacă sunt necesare mai multe detectoare pentru aceeași încăpere, ele se instalează în așa fel încât să nu existe interferențe între ele. Nu se utilizează niciodată detectoare care să opereze la frecvențe diferite. Limita de detecție maximă este de aproximativ 9 m (fig. II.10.14).

Detectoare de mișcare cu microunde

Sunt folosite, în special, pentru supravegherea volumelor mari, interioare, în combinație cu detectoare pasive în infraroșu (dublă tehnologie) (fig. II.10.15). De asemenea, conțin un emițător și un receptor, funcționând după principiul Doppler.

Corpul uman este un bun absorbant al semnalului de microunde, energia reflectată recepționată este foarte mică în comparație cu cea reflectată de alte obiecte.

Dacă în construcția clădirii intervin penetrări de microunde nedorite, acestea perturbă funcționarea detectoarelor. Construcțiile din beton sau cărămidă prezintă în mai mică măsură penetrări nedorite, dar rigipsul, lemnul, plasticul și sticla sunt penetrate cu ușurință. Suprafețele metalice reflectă și împrăștie caracteristica de protecție.

De aceea se recomandă ca detectorul să fie montat într-o asemenea poziție încât zona de acoperire să nu fie obstrucționată.

Ori de câte ori este posibil, detectorul se montează pentru a supraveghea punctele de intrare, eventualul intrus mișcându-se pe direcția detectorului. În locurile unde trebuie instalate mai multe detectoare, acestea se setează pe frecvențe diferite, pentru a fi evitate interferențele. Alte interferențe pot apărea datorită lămpilor fluorescente, fiind necesar ca detectoarele utilizate să fie dotate cu filtre.

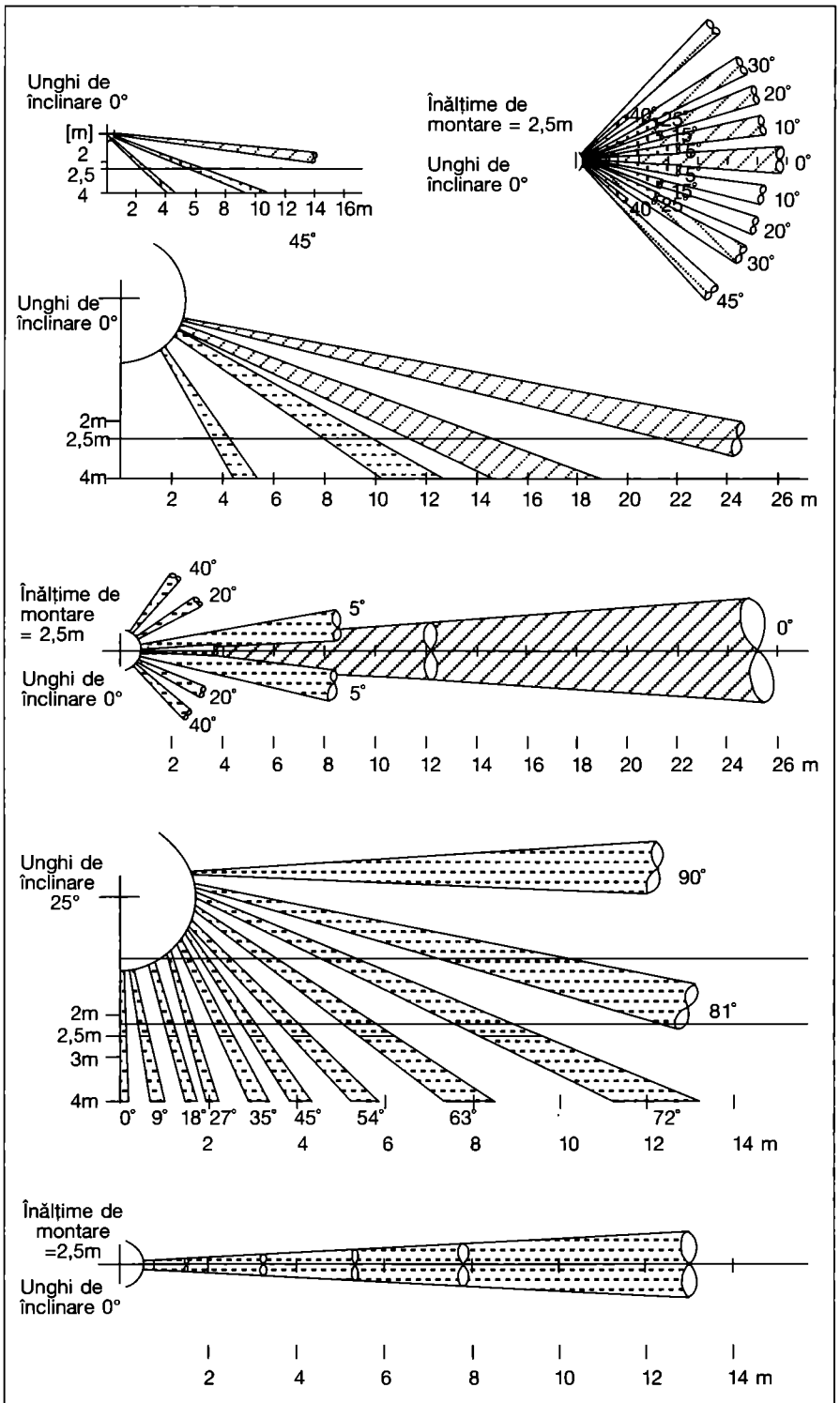


Fig. II.10.13. Caracteristicile de detecție pentru detectoarele volumetrice, de distanță mare și detectoarele cortină.

Detectoare cu dublă tehnologie

Utilizarea a două tehnici de detecție face ca probabilitatea ca o alarmă falsă să influențeze două tipuri de detectoare să fie foarte mică. De exemplu, zgomotele ultrasonice sau turbulențele de aer care pot constitui o problemă pentru detectoarele ultrasonice nu influențează un detector în infraroșu. Pe de altă parte, lumina directă a soarelui sau punctele calde locale nu vor influența un detector ultrasonic. Când aceste două tehnici de detecție sunt combinate, astfel încât ambele detectoare pot semnala prezența unui intrus într-un anume timp, atunci alarmele false sunt eliminate. Combinația dintre detectoarele în infraroșu și detectoarele ultrasonice este recomandabilă pentru acoperiri limitate, până la mediu, deoarece limita superioară a detectoarelor ultrasonice este de aproximativ 9 m.

În timp ce pentru o combinație infraroșu-ultrasonic limitarea vine din partea detectorului ultrasonic, pentru combinația infraroșu-microunde detectorul în infraroșu este cel care de cele mai multe ori limitează intervalul de acoperire a suprafețelor. Detectoarele infraroșu-microunde sunt mai voluminoase decât detectoarele infraroșu-ultrasonic datorită volumului pe care îl ocupă cele două antene „horn" ale părții de detecție cu microunde. Limita maximă a detecției este de aproximativ 30 m.

10.2.2.4 Detecția tentativelor de spargere a geamurilor

În conformitate cu studii recente, în aproximativ 30 % din spargerile de locuințe, hoții au reușit să intre în casă spărgând geamul unei ferestre sau al unei uși. Pentru spațiul comercial și industrial, acest procentaj crește la aproximativ 50 %.

Avantajul acestor detectoare (fig. II.10.16) este că ele pot realiza supravegherea chiar și atunci când detectoarele de mișcare nu pot fi active.

Detecție pasivă

Detectoarele pasive sunt utilizate pentru ferestre care au geamurile dintr-o singură bucată. În momentul spargerii geamului apare un spectru de frecvențe care se propagă pe suprafața sticlei sub forma unui cerc a cărui rază crește.

Senzorul pasiv de spargere a geamului, montat pe geam, recepționează acest spectru prin intermediul plăcii de bază în care este integrat un cristal piezoelectric.

Cristalul piezoelectric transformă tensiunile mecanice în semnale electrice. Partea de prelucrare a detectorului compară semnalele recepționate cu o mostră de frecvență. Dacă frecvențele recepționate se situează într-un domeniu dat este generată alarma.

Pe baza caracteristicilor de frecvență selective sunt eliminate alarmele false.

Detecție activă

Senzorul activ de spargere a sticlei este, în calitatea sa de semnalizator de suprafață, o componentă fixă a unei tehnici de asigurare bine gândită. Senzorul activ de spargere a sticlei ține, permanent, sub control suprafața de supravegheat a sticlei, prin două sisteme independente (măsurarea reflexiei și măsurarea frecvenței) cuplate într-o conexiune tip „*ȘI*". Aceasta înseamnă că, dacă ambele sisteme sunt activate concomitent, are loc un mesaj de alarmă atingându-se o înaltă siguranță la perturbații.

Prin elementul piezoelectric de măsurare a reflexiei, geamului de sticlă i se imprimă (la anumite intervale de timp) oscilații. După timpul de emisie, elementul piezoelectric comută electronic pe recepție. Oscilațiile reflectate sunt astfel recepționate, digitalizate și memorate. Aceste operații se repetă de câteva ori pe secundă, datele emise fiind comparate permanent cu datele recepționate.

Dacă o suprafață de sticlă este distrusă, oscilațiile recepționate nu coincid cu cele emise și memorate (duratele de propagare), producându-se intern o memorare care însă nu duce la o alarmă.

Dacă, în același timp, prin elementul piezoelectric de măsurare a frecvenței este activat sistemul de analiză a frecvenței sticlei, prin circuitul „*ȘI*" are loc un mesaj de alarmă. În cazul unor influențe perturbatoare, activitatea unui singur sistem de analiză din cele două sisteme independente va duce la anularea automată după un anumit tip de memorare.

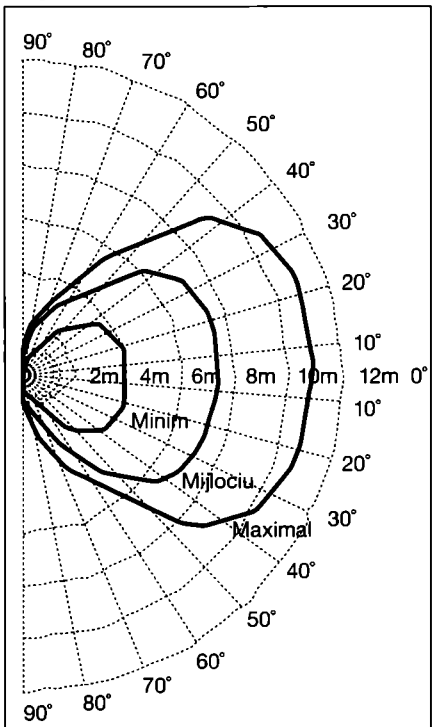


Fig. II.10.14. Caracteristica unui detector ultrasonic.

Datorită modului de supraveghere, la proiectarea unui sistem de pază și alarmare, trebuie avute în vedere următoarele:

- pe fiecare geam poate fi montat un singur senzor; senzorii activi de spargere a sticlei emit pe geamul de sticlă frecvențe în banda ultrasunetelor; interferențele pot fi eliminate dacă geamurile alăturate prezintă o legătură metalică între ele sau prin utilizarea unui distribuitor de sincronizare;
- senzorul se plasează, preferențial, în zona superioară a ferestrei, în afara razei de acțiune a mâinilor;
- la sticla de blindaj, geamul trebuie să aibă o anumită dimensiune minimă (în funcție de producător).

La reglajul detectoarelor active de spargere a geamurilor, instalatorul trebuie să țină seama de condițiile locale și de tipul sticlei ce urmează a fi supravegheată deoarece caracteristica reflexiei geamului de sticlă rezultă individual din mărime, material, tip de sudare și montaj.

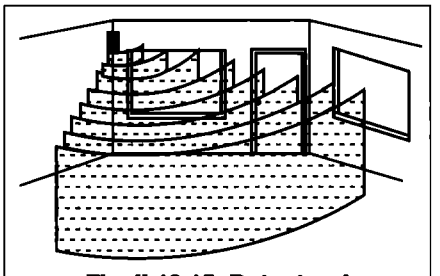


Fig. II.10.15. Detectorul cu microunde.

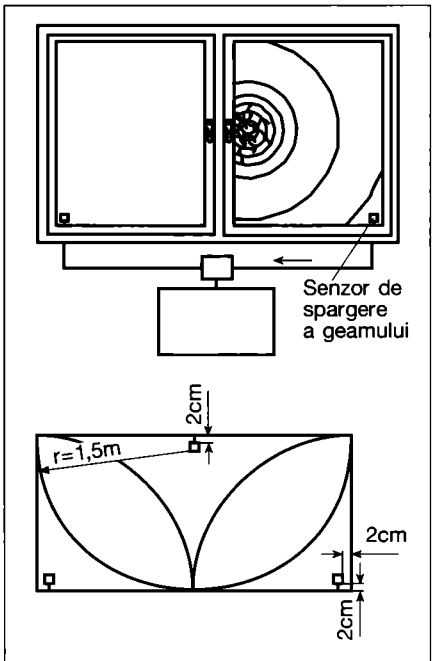


Fig. II.10.16. Montarea și raza de acțiune a unui detector de spargere a geamului.

Detecția acustică

Aceste tipuri de semnalizatoare servesc pentru supravegherea geamurilor de sticlă la străpungere, fără ca senzorul și geamul de sticlă să se afle în contact direct. Datorită acestei tehnologii există posibilitatea ca printr-o unitate de semnalizare să se supravegheze mai multe geamuri (fig. II.10.17).

Anumite tipuri de ferestre (constituite din mai multe segmente), ferestrele glisante, geamurile bombate, lucarnele și ferestrele de supralumină se pretează a fi supravegheate, la spargerea sticlei, cu ajutorul detectoarelor acustice.

Principiul de semnalizare al semnalizatorului cu detecție acustică se bazează pe faptul că în cazul spargerii sticlei se produc audiofrecvențe medii, iar la incidența acestora pe sol este generat un spectru de înaltă frecvență. Acest proces este prelucrat electronic și comparat cu modelele de semnale de alarmă (benzile de frecvențe individuale, precum și desfășurarea temporală a evenimentelor trebuie să se încadreze în anumite domenii prestabilite). În cazul unei succesiuni corecte a semnalelor, analiza conduce la o alarmă.

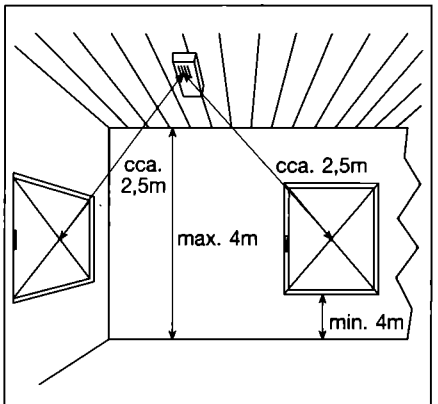


Fig. II.10.17. Amplasarea într-o încăpere a unui detector acustic de spargere a geamului.



Fig. II.10.18. Echiparea unui tezaur de bancă cu detectoare de vibrații.

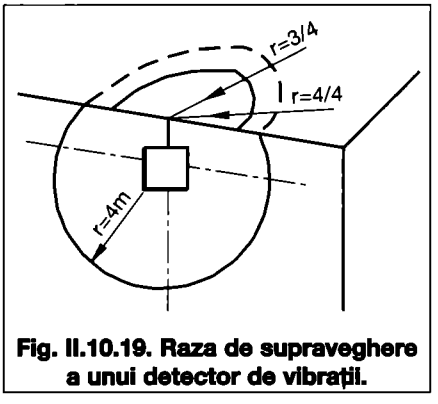


Fig. II.10.19. Raza de supraveghere a unui detector de vibrații.

Pentru proba de funcționare a semnalizatoarelor acustice de spargere a sticlei, în exploatare și întreținere, se folosește un aparat manual de control.

Acesta simulează printr-un difuzor integrat frecvențele, în succesiunea temporală corectă, pentru a face să reacționeze semnalizatorul.

La proiectarea unui sistem cu astfel de semnalizatoare trebuie avute în vedere următoarele:

- nu este permis ca zona de vizitabilitate între semanalizator și obiectul de supravegheat să fie restrânsă prin porțiuni de zidărie ieșită în afară, coloane, piese mobiliare, perdele fonoabsorbante sau alte obiecte asemănătoare;
- nu este permis ca semnalizatorul să fie montat în fața unor surse de ultrasunete;
- semnalizatoarele acustice de spargere a sticlei se vor folosi numai în spații interioare uscate;
- nu se pretează la supravegherea sticlei consolidate cu sârmă sau a sticlei securit.

10.2.2.5 Detecția tentativelor de penetrare a pereților

Detectoarele de vibrații au fost proiectate pentru detecția încercărilor de pătrundere neautorizată (prin pereți sau prin ușă) în tezaure, case de bani, bancomate (fig. II.10.18).

Datorită tehnologiei încorporate, detectorul depistează orice dispozitiv de penetrare (bormașină cu percuție, freză cu diamant, presă hidraulică, explozie) aflat în funcțiune în raza de acțiune. În același timp, acestea permit deplasarea în zona supravegheată fără a da alarme false.

Semnalele recepționate sunt procesate de detector, analizându-se frecvența semnalului, durata și amplitudinea cu scopul de a face diferența între o modificare ocazională de mediu și un atac real.

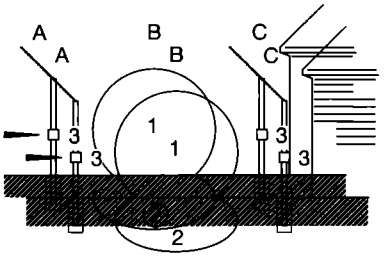


Fig. II.10.20. Barieră mecanică cu sistem de detecție automat:
A - bariera exterioară; B - zona supravegheată; C - gardul interior; 1 - supraveghere aeriană; 2 - supravegherea solului; 3 - supravegherea barierelor.

Montarea se face în nișe sau, direct, pe perete.

Raza de supraveghere depinde de tipul de detector, de natura materialului din care sunt confecționați pereții, de sensibilitatea dorită și de vibrațiile caracteristice ale clădirii (fig. II.10.19).

10.2.2.6 Detectoare tensometrice

Sunt folosite, în special, pentru supravegherea obiectelor de artă atârnate pe pereți (tablouri). Pot fi active în timpul prezenței publicului, reprezentând o suplimentare a supravegherii spațiale.

Detectorul primește, prin intermediul unui senzor piezoceramic, modificarea de sarcină și/sau deplasările mecanice pe care le transformă în semnale electrice. Acestea sunt evaluate în funcție de repetabilitate, amplitudine și de anumite frecvențe tipice. Pragurile de reacție modificabile și numărul de impulsuri programabil fac posibilă optimizarea între sensibilitatea la reacție și răspunsul la deranjament.

10.2.2.7 Supravegherea vitrinelor

Funcționarea supravegherii se bazează pe variația periodică a volumului de aer din vitrină (de ordinul a câțiva centimetri cubi) cu ajutorul unei diafragme. La scăderea presiunii (monitorizată de detector) ca urmare a unei încercări de deschidere a vitrinei, algoritmul analitic al detectorului identifică această schimbare și generează semnalul de larmă.

Tabelul II.10.6. Riscuri și factori perturbatori

Riscurile ce trebuie acoperite prin protecția perimetrelor	Factori perturbatori pentru protecția perimetrelor
- Efracție	- Ceață, fum
- Tâlhărie	- Ploaie, burniță
- Sabotaj	- Zăpadă
- Atac terorist	- Formare de gheață, chiciură
- Spionaj	- Umiditate (a aerului, a solului)
- Pătrundere neautorizată	- Nisip, praf
	- Fulgere
	- Câmpuri electromagnetice
	- Expunere la soare
	- Variații mari de temperatură
	- Cutremure, vibrații, șocuri
	- Arbori, rădăcini
	- Animale

10.2.2.8 Supravegherea perimetrelor

Sistemele de supraveghere perimetrală trebuie să funcționeze în aer liber și sunt expuse influenței factorilor de mediu (vânt, ploaie, zăpadă, praf, nisip, vibrații etc.). În aceste condiții, sistemele trebuie să ignore influența factorilor perturbatori și să identifice, sigur, semnalizarea de pătrundere în perimetru.

Pentru rezolvarea acestor cerințe, în majoritatea cazurilor, este necesară completarea sistemului de supraveghere perimetrală cu sisteme de supraveghere TV și sisteme de iluminat. Numai astfel este posibil ca la dispecerat, după recepționarea unei alarme, să se analizeze situația, rapid și eficient, și să se inițieze măsurile de intervenție.

Un sistem de supraveghere perimetrală, eficient, combină o barieră mecanică cu un sistem de detecție automat (fig. II.10.20).

Gardul exterior A reprezintă o delimitare vizibilă a zonei care trebuie protejată și previne pătrunderea neintenționată a oamenilor sau animalelor și, implicit, declanșarea alarmei.

Zona B este monitorizată împotriva pătrunderii intrușilor. Există mai multe metode de monitorizare a zonei B:
- în aer;
- în sol;
- pe gardul exterior;
- o combinație a celor de mai sus.

Scopul barierei C este acela de a întârzia pătrunderea intrusului, în zona protejată, în vederea asigurării timpului necesar ca echipa de intervenție să opereze eficient.

Alegerea echipamentelor potrivite pentru supravegherea pătrunderii în perimetru trebuie făcută după analizarea atentă a riscurilor la care este supus obiectivul și, respectiv, a factorilor perturbatori existenți. În tabelul II.10.6 sunt prezentate principalele riscuri și principalii factori perturbatori întâlniți în aplicațiile de supraveghere a pătrunderii în perimetru.

Echipamentele și instalațiile de monitorizare a perimetrului trebuie să îndeplinească cerințele funcționale specifice aplicației și să asigure suplimentar:
- funcționare permanentă, 24 h din 24;
- funcționare fiabilă a tuturor componentelor și asigurarea unei detecții sigure independent de factorii perturbatori externi;
- semnalizarea deranjamentelor apărute în sistem;
- monitorizarea împotriva sabotării echipamentelor sau cablurilor.

În vederea asigurării unei localizări cât mai precise a semnalizării pătrunderii unui intrus, care să permită o intervenție rapidă, perimetrul va fi divizat în cât mai multe zone de alarmare.

Sistemul de monitorizare trebuie să furnizeze 3 tipuri diferite de informații pentru fiecare zonă de alarmare:
- alarma de pătrundere a unui intrus;
- alarma de sabotare a echipamentelor sau cablurilor;
- semnalizarea prezenței unor factori perturbatori peste o anumită limită prestabilită.

Caracteristicile diferitelor sisteme de supraveghere a pătrunderii în perimetru sunt prezentate în tabelul II.10.7.

Tabelul II.10.7. Caracteristicile sistemelor de supraveghere

Sistem		Principiu de detecție	Avantaje	Posibilități de depășire a sistemului	Riscuri de alarme false	Lățimea zonei [m]	Cost relativ
Volumetric	Barieră în infraroșu	Opturarea fascicolelor de radiație în spectrul infraroșu	Zonă îngustă de detecție	Cățărare, tunel	Ceață, zăpadă, furtună, animale,	0,1	100
	Barieră cu microunde	Modificarea intensității câmpului electromagnetic într-un fascicol de microunde	Cost redus	Cățărare, tunel	Animale, reflexii pe suprafețe metalice sau apă	1,5...10	80
	Câmp electrostatic	Modificare permitivității prin apropiere	Sensibilitate mare	Cățărare, tunel	Corosiune, gheață, animale	3	250
Pe gard	Cablu de presiune	Modificarea sarcinii polarizate sub presiune	Cost redus	Cățărare fără a atinge gardul, tunel	Animale, vibrații, trafic	0,1	50
	Detector cu vibrații	Analiza vibrațiilor gardului	Cost redus	Cățărare fără a atinge gardul, tunel	Vibrații, trafic, animale	–	40
	Detector cu fir tensionat	Modificarea tensiunii în firele gardului	Rată redusă de alarme false	Cățărare fără a atinge gardul, tunel	Păsări, teren instabil	0,1	160
În sol	Tub de presiune	Modificarea presiunii solului	Invizibil	Realizarea unui pod peste zona supravegheată	Animale, vânt, arbori	2	250
	Cablu coaxial cu pierderi	Modificare câmpului electromagnetic din apropierea cablului	Invizibil; supraveghează și sub sol	Salt peste zona sensibilă	Apă curgătoare	2...3	180

• **Echipament pentru detecția pătrunderii cu cablu coaxial cu pierderi, îngropat**

Cablul coaxial cu pierderi generează un câmp de detecție de radiofrecvență în jurul traseului perimetral pe care este îngropat. Semnalele electrice transmise prin cablu generează un câmp electromagnetic invizibil care poate detecta prezența unui intrus care-l traversează.

Cablul coaxial cu pierderi este elementul de sesizare. El este constituit din două cabluri coaxiale în aceeași cămașă din polietilenă de mare densitate, rezistentă la solicitări mecanice sau atac chimic. In interiorul cablului se află un material de umplere pe bază de parafină care are rolul de a preveni pătrunderea apei dacă cămașa cablului a fost deteriorată (crăpată, roasă).

Cablul este conectat la un echipament electronic care generează semnalul electric, îl injectează în cablu și analizează modificările apărute ca urmare a pertubării câmpului electromagnetic din jurul cablului. Prelucrările de semnal, ulterioare, sunt complexe. In vederea deosebirii între alarmele utile și cele false și pentru asigurarea unor caracteristici tehnico aplicative specifice se utilizează algoritmi brevetați.

Caracteristicile tehnico-aplicative definesc domeniul de utilizare al acestei metode:

• Perimetrul definit de traseul cablului îngropat este invizibil și permite detecția pătrunderii fără ca intrusul să se aștepte la așa ceva. Echipamentul funcționează la parametrii nominali în medii diferite cum ar fi pământ, asfalt, beton sau alte medii a căror conductivitate este cuprinsă în domeniul 10...250 mΩ/m. Terenul trebuie să aibă schimbări de planeitate de maxim 30 %, iar colțurile traseului să aibă o rază de curbură de minim 6 m. Cablul se îngroapă la circa 5...10 cm în asfalt sau beton.

• Câmpul de detecție este continuu și uniform în lungul perimetrului. Dimensiunile caracteristice ale câmpului de detecție sunt:
- înălțime: 1...1,5 m;
- lărgime: 1...3 m;
- adâncime: 0,5 m.

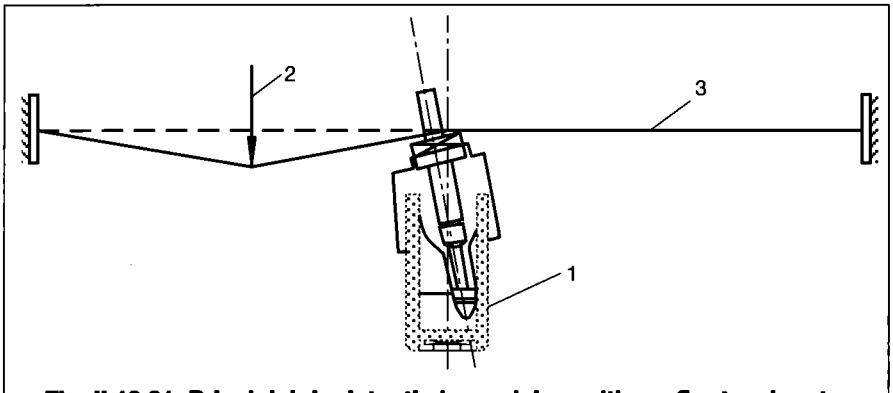


Fig. II.10.21. Principiul de detecție la gardul senzitiv cu fire tensionate:
1 - detector; 2 - deformare a firului tensionat; 3 - fir tensionat.

• Echipamentul asigură detecția obiectelor în mișcare care au o secțiune de ecranare electromagnetică semnificativă (oameni, vehicule, obiecte bune conducătoare de electricitate de dimensiuni mari). Probabilitatea de detecție a unui om este de 99 % pentru un factor de încredere de 95 %. Echipamentul detectează un om care se deplasează în plimbare, alergare, târâre, salturi, cu o viteză cuprinsă între 0,02 și 8 m/s, indiferent de direcția de mișcare. În vederea evitării alarmelor false, echipamentele menționate detectează un om cu o greutate minimă de 30...35 kg.

• Echipamentul funcționează în condiții de exterior și este susceptibil la alarme false în anumite condiții meteorologice sau de mediu:
- vegetație, în lungul traseului, care depășește înălțimea de 30 m;
- ploaie, zăpadă;
- răsăritul sau apusul soarelui;
- vânt;
- schimbări bruște de temperatură;
- ceață, furtuni de nisip;
- mișcarea în zonă a obiectelor cu secțiune electromagnetică semnificativă (autovehicule, cursuri de apă la suprafață sau subterane);
- surse generatoare de perturbații electromagnetice sau acustice.

• Echipamentul asigură o lungime maximă pentru un tronson de detecție de circa 200 m. In practică se utilizează tronsoane de 50, 100 sau 150 m, în vederea identificării cât mai precise a locului de efracție.

• **Barieră de microunde**

Este constituită dintr-un emițător și un receptor amplasate la o distanță de 50...300 m unul de celălalt. Emițătorul este un generator de radiație electro-

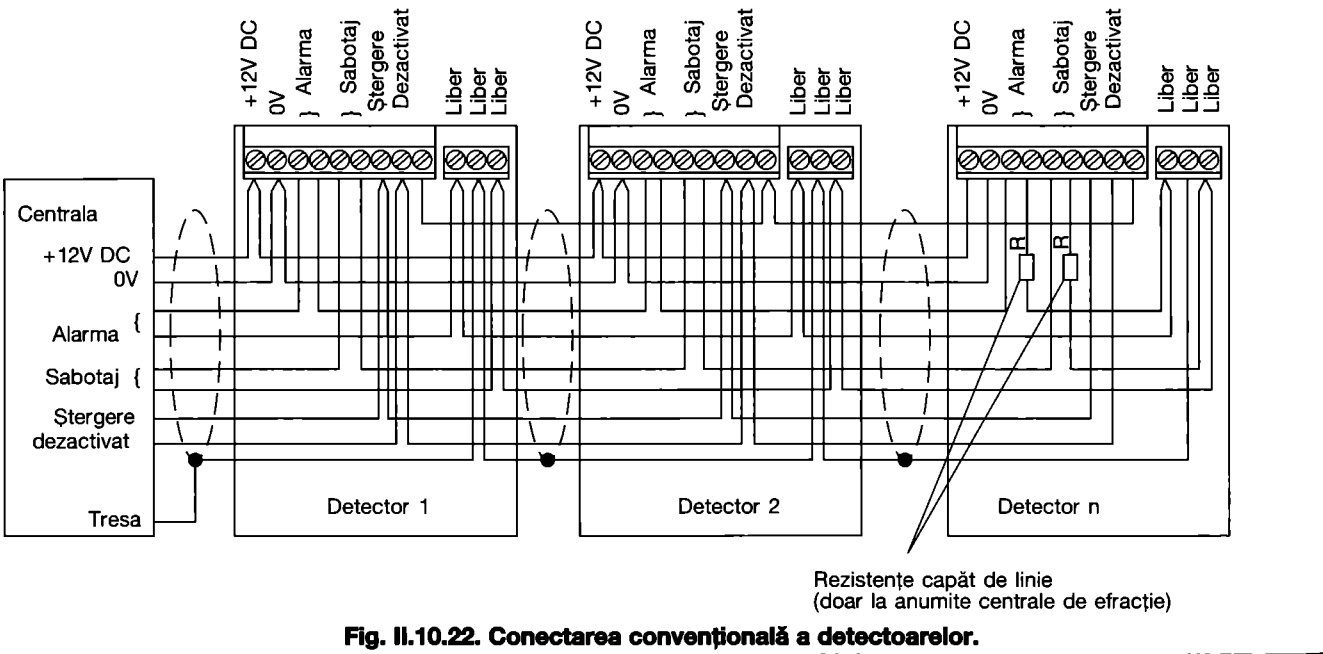


Fig. II.10.22. Conectarea convențională a detectoarelor.

magnetică de înaltă frecvență (microunde), de regulă, în jurul a 10 GHz.

Soluțiile moderne utilizează oscilatoare rezonante cu dielectric care sunt foarte stabile pentru o gamă largă de temperaturi.

Receptorul utilizează o metodă de detecție bazată pe analiză de semnal, modificările în amplitudinea semnalului fiind direct proporționale cu mărimea și densitatea obiectului aflat în câmpul barierei.

Polarizarea antenelor este variabilă și permite crearea de canale de transmisie multiple pentru aplicații care utilizează mai multe bariere în sistem (se evită astfel influențarea reciprocă a barierelor). De asemenea, prin modificarea polarizării antenelor se reglează caracteristica de detecție.

Carcasele echipamentelor sunt metalice și protejate la ploaie sau îngheț. Barierele sunt dotate cu echipament auxiliar (optic și/sau sonor) pentru alinierea și analiza perturbațiilor mediului.

Semnalizările generate de receptor, ca urmare a detectării pătrunderii în perimetru, sunt transmise, prin ieșiri fizice sau logice, către echipamente de dispecerizare sau gestionare a clădirii.

Caracteristica de detecție are o lărgime dependentă de lungimea barierei (distanța dintre emițător și receptor) și anume circa 4...6 m la o lungime de 100 m.

• Detector inerțial de vibrații

Operează ca un filtru „trece-bandă" cu o sensibilitate uniformă într-un spectru larg de frecvențe. Detectoarele, de regulă, încapsulate și etanșe se pot monta pe cele mai multe tipuri de garduri realizate din confecții metalice (plăci metalice sudate, gard de sârmă ghimpată, concertina etc.)

Semnalele electronice generate de detectoarele de vibrații sunt analizate de o unitate de control electronică. Aceasta utilizează analiza de semnal adaptivă care minimizează influența evenimentelor întâmplătoare și compensează condițiile de mediu.

Echiparea tipică pentru un gard construit din bare metalice se realizează prin fixarea de gard, la o înălțime de 120 cm de sol, a câte unei perechi de detectoare inerțiale de vibrații (montate la 30...40 cm unul de celălalt) la fiecare 3 m.

Gard senzitiv cu fire tensionate

Acest echipament asigură o barieră fizică fermă, combinată cu un sistem de detecție a efracției, fiabil și sigur (fig. II.10.21).

Principiul de bază al acestei metode constă dintr-o arie de fire pretensionate (sârmă ghimpată sau lisă) prinse între două posturi de ancorare succesive. La jumătatea distanței dintre posturile de ancorare este amplasat un post de detecție, echipat cu câte un senzor pentru fiecare fir pretensionat. Pentru a asigura o rezistență fizică a gardului, precum și pentru orientarea mișcării firelor pretensionate, se amplasează la distanțe egale, stâlpi de susținere. Stâlpii de susținere permit transformarea mișcărilor verticale ale firelor, deformate de cățărarea unei persoane, în mișcare orizontală, sesizabilă de către detectoarele din postul de detecție. Detectoarele din postul de detecție au o construcție specială destinată discriminării între mișcările foarte lente care pot apărea datorită modificărilor mediului și mișcărilor rapide provocate de tăierea sau supratensionarea firelor.

Orice încercare de penetrare în perimetru prin tăierea gardului, cățărarea cu sau fără scară, va genera un semnal de alarmă. Semnalizările generate de fiecare detector din postul de detecție sunt preluate de un echipament electronic, care le transmite pe un canal de comunicație serială cablat, către un calculator de dispecerizare sau gestionare a clădirii.

Caracteristicile tehnicoaplicative recomandă această metodă de protecție a perimetrului ca optimă, din punct de vedere performanță-preț, pentru obiective speciale, precum unități militare, închisori, aeroporturi, centrale nucleare, alte întreprinderi de înaltă tehnologie sau cu activități cu grad mare de periculozitate.

• Metoda permite o dimensionare flexibilă a perimetrului ce trebuie supravegheat. Lungimea maximă a unui tronson, delimitat de două posturi de ancorare este de 50 m.

• Echipamentul generează o alarmă dacă unul dintre fire este deformat de o forță mai mare de 100...400 N, eliminându-se astfel alarmele false produse de animale mici, păsări etc. Pentru fiecare semnalizare se identifică firul afectat și deci se cunoaște înălțimea la care s-a produs efracția.

• Metoda de detecție, preponderent mecanică, face ca acest echipament să fie foarte puțin susceptibil la alarme false. Producătorii garantează o rată anuală mai mică de 4 alarme false pentru un kilometru de gard senzitiv.

• Fiabilitatea și mentenabilitatea sunt foarte ridicate. Producătorii garantează o medie a timpului de bună funcționare de 2 - 2,5x10^7 h și un timp mediu de reparare de 30 min.

• Gardul senzitiv poate fi montat de sine stătător sau pe un gard sau zid existent. Forma recomandată pentru gard include o porțiune verticală și una înclinată la 45° în vederea descurajării tentativelor de cățărare cu sau fără scară. Înălțimea echivalentă a gardului va fi cuprinsă în intervalul 2,5...4 m. Pentru unele aplicații metoda se pretează la combinarea cu o concertină din sârmă ghimpată.

• Succesul acestei metode depinde mult de corecta instalare a echipamentului. Trebuie asigurată o fundație corespunzătoare pentru posturile de acordare, astfel încât modificări ale factorilor meteorologici să nu producă deplasări sesizabile. La instalare trebuie avute în vedere topologia terenului, felul solului, caracteristicile de climă. Alte amenajări existente, precum linii telefonice, electrice sau pomi pot constitui căi de pătrundere în perimetru, fără a atinge gardul senzitiv. În unele aplicații, această metodă poate fi suplimentată cu o supraveghere mascată (detector IR, detector de microunde, cablu îngropat).

10.2.3. Centralizarea semnalizărilor în instalațiile pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii

Instalațiile pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii sunt formate din mai multe dispozitive și echipamente distribuite în interiorul și/sau exteriorul obiectivului supravegheat, ale căror semnalizări trebuie centralizate în vederea utilizării. De regulă, aceste centralizări se fac în centrala de efracție.

Modalitatea de conectare a echipamentelor la centrala de efracție a dus la următoarea clasificare a tipurilor de conexiuni:
- clasică;
- adresabilă;
- buclă;
- radio.

• Conexiunea clasică

Conectarea se face pe 6 fire (2 alimentare, 2 alarmă, 2 sabotaj) (fig. II.10.22). La conectarea unui singur echipament sau dispozitiv la centrală, pe un racord (denumit și linie sau grupă), semnalizările de efracție sau sabotaj provenite de la dispozitiv vor fi bine localizate.

În cazul în care pe un racord vor fi conectate mai multe dispozitive, la apariția unei semnalizări de efracție sau sabotaj, centrala nu va putea identifica dispozitivul care a declanșat alarma sau care a fost sabotat. De aceea este recomandabil ca, în cazul folosirii conexiunii clasice, conectarea a mai mult de un singur dispozitiv la un racord al centralei să se facă numai dacă dispozitivele respective se găsesc în aceeași încăpere.

Unele tipuri de detectoare mai au o intrare de comandă a diodei electroluminiscente și o ieșire de semnalizare a

acoperirii sau de deranjament. Pentru valorificarea acestor informații la nivelul centralei de efracție vor trebui suplimentate firele de conectare.

Circuitul de semnalizare este permanent monitorizat de centrala de efracție. Pentru aceasta la capătul fiecărui racord (numai la unele centrale) se conectează un rezistor de o anumită valoare. Atunci când valoarea măsurată scade sau crește peste un anumit procent din valoarea nominală este semnalizată starea de alarmă.

Alarma de sabotaj apare atunci când dispozitivul este deschis sau când cablul este tăiat.

• Conexiunea adresabilă

Asigură transmiterea mai multor tipuri de semnalizări, bidirecțional, între centrală și dispozitivele conectate (fig. II.10.23).

Conectarea se face pe 3 sau 4 fire, în funcție de echipament, comunicația putând fi analogică sau digitală (serială, cum este cea utilizată de către echipamentele de calcul).

Prin intermediul conexiunii adresabile, fiecare dispozitiv conectat este adresat periodic și poate transmite informații către echipamentul central sau poate primi comenzi de la acesta. Astfel fiecare semnalizare de alarmă, deranjament, sabotaj, primită la centrala de efracție este asociată cu adresa dispozitivului care a generat-o. Pe un singur racord se pot centraliza informații de la mai multe dispozitive, numărul lor fiind limitat (în funcție de producător) din motive de prelucrare și din considerente de alimentare.

În cazul sistemelor mari, în care comunicația dintre dispozitive este analogică, între momentul producerii unui eveniment și recepționarea și prelucrarea sa de către echipamentul central poate exista un decalaj de ordinul secundelor. Acest decalaj este mult mai mic în cazul sistemelor în care comunicația este digitală.

• Conexiunea buclă

Se caracterizează prin controlul ambelor capete ale circuitului de către echipamentul central. Dispozitivele și echipamentele montate sunt adresabile. Marele avantaj al unei astfel de conexiuni este că în cazul unei întreruperi a cablului de legătură, dispozitivele sunt accesate, în mod alternativ, prin ambele capete ale buclei.

Pentru rezolvarea problemelor de scurtcircuit care pot apare în interiorul buclei trebuie montate izolatoare. Acestea supraveghează circuitele aflate de o parte și de alta a lor, deconectându-se în momentul detectării unui scurtcircuit. Prin intermediul izolatoarelor se pot defini tronsoane de buclă, astfel încât, în cazul unui scurtcircuit, numai dispozitivele de pe tronsonul defect vor rămâne nefuncționale.

Unele detectoare moderne sunt dotate cu două astfel de izolatoare, câte unul pentru fiecare sens.

• Conexiunea radio

Acest tip de conexiune este folosit atunci când se dorește supravegherea la efracție a obiectivelor în care nu se poate duce tubulatura pentru introducerea firelor, pentru a nu modifica aspectul existent al interioarelor. Astfel de obiective sunt: muzee, biserici etc.

Pentru aceasta se pot folosi dispozitive radio cum ar fi: detectoare de mișcare, contacte de deschidere ușă, detectoare de spargere a geamului, butoane de atac, receptoare radio, interfețe care să asigure conectarea la centrale convenționale.

Semnalul transmis de emițător este captat la distanță de un receptor conectat prin intermediul unei interfețe speciale la centrala de alarmă.

Emițătoarele au încorporate baterii „extra long life", asigurând funcționarea cca 2 ani. Starea de baterie descărcată este semnalizată de fiecare emițător al centralei de alarmă.

Modul în care are loc transmisia între emițător și receptor face, practic, imposibilă bruierea acestora mai ales, în cazul în care se aleg echipamentele care folosesc tehnologia spectrului distribuit, tehnologie de dată recentă, folosită, inclusiv, în transmisiile militare. Totodată, puterea foarte mică la emisie (max. 100 mW) precum și gama de frecvențe folosită (900 MHz) nu perturbă alte aparate electronice aflate în apropiere.

10.2.4. Topologii de instalații pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii

Prin utilizarea microprocesoarelor și a tehnologiilor de ultimă oră s-a făcut trecerea la sisteme modulare care pot satisface toate dorințele, în ceea ce privește adaptarea la obiectiv, servirea și instalarea.

Principalele elemente care caracterizează o centrală de efracție sunt:
- numărul de linii convenționale integrate pe placa de bază și posibilitatea de extindere;
- numărul de semnalizatori adresabili care se pot conecta;
- numărul de grupe de semnalizare la care pot fi atribuite liniile convenționale și/sau semnalizatorii adresabili;
- numărul de domenii și subdomenii la care pot fi distribuite grupele de semnalizare;
- capacitatea memoriei de evenimente;
- numărul ieșirilor programabile și posibilitatea de extindere;
- posibilitatea de a introduce mesaje în limba română și conectarea la calculator.

• Partiționarea instalației

În funcție de structura obiectivului care trebuie protejat se impune ca grupele de semnalizare să fie asociate la domenii. Fiecare domeniu poate fi privit ca o centrală de efracție separată la care posibilitatea de activare, dezactivare, ștergere alarme, nu depinde de starea celorlalte domenii. De exemplu, acest lucru este foarte util în cazul unei bănci. Un domeniu va fi asociat tezaurului de valori, un domeniu tezaurului de casete, un domeniu dispeceratului și un domeniu pentru restul clădirii. În acest fel, la un moment dat, un tezaur și dispeceratul pot fi puse sub supraveghere în timp ce celălalt tezaur și restul clădirii, nu, creându-se astfel posibilitatea desfășurării activităților specifice fără să fie făcut nici un compromis din punct de vedere al securității.

• Activarea internă

Regimul de lucru activ intern permite supravegherea „în prezență" a unui domeniu, adică supravegherea unei părți din grupele de semnalizare ale domeniului, celelalte fiind blocate.

La declanșare, liniile active transmit alarma programată, iar cele blocate semnalizează prin mesaj pe afișaj.

Centrala trece un domeniu selectat în stare de activ intern printr-o comandă dată de la unul din panourile de operare. Ea acceptă regimul de activare internă pentru domeniul respectiv numai dacă grupele de semnalizare aparținând domeniului sunt nealarmate sau cele alarmate sunt blocate. Când activarea se face cu întârziere, un buzer va

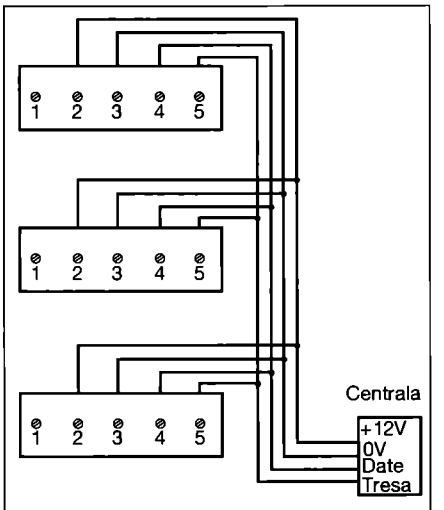


Fig. II.10.23. Conectarea detectoarelor adresabile.

semnaliza pe durata temporizării.

Când centrala nu permite comutarea pe activ intern, trebuie examinate cauzele acestei imposibilități de comutare (se văd grupele deranjate sau eventualele deranjamente).

Ieşirea din regimul activ intern se face printr-o comandă de la unul din panourile de operare a centralei.

De menționat că trecerea unui domeniu în regimul activ intern este permisă numai dacă domeniul respectiv este dezactivat extern (nu este posibilă trecerea directă din regimul activ extern în cel activ intern).

• Activarea externă şi dispozitive specifice

Acest tip de activare este specific centralelor de efracție fabricate de firma EFF-EFF din Germania şi presupune existența unui dispozitiv special (element de activare/dezactivare cu cheie, cu cartelă magnetică sau cu cartela de proximitate, cu tastatură etc.).

Regimul de lucru activ extern permite supravegherea completă a unui domeniu, adică supravegherea tuturor grupelor de semnalizare ale domeniului. Dacă există grupe blocate de utilizator (grupele blocate la nivel de instalator nu au acest regim) acestea vor fi automat deblocate la activare.

Centrala trece domeniul corespunzător dispozitivului de activare în starea de activ extern prin prezentarea unei cartele (de proximitate sau magnetică), prin introducerea unui cod de la tastatură sau prin răsucirea unei chei de construcție specială. La activare se va auzi o confirmare sonoră locală de aproximativ 1 s. Centrala acceptă regimul de activare externă pentru domeniul respectiv numai dacă grupele de semnalizare aparținând domeniului sunt nealarmate sau cele alarmate sunt blocate de instalator şi dacă nu există alte deranjamente ale cetralei cum ar fi: deranjament de acumulator, lipsă rețea etc.

De menționat că trecerea unui domeniu în regimul activ extern este permisă şi atunci când domeniul este activat intern.

Dispozitivele specifice de activare externă sunt:

• **broască electronică cu blocare;** în dezvoltarea acestei broaşte cu blocare s-au folosit cele mai noi posibilități tehnice ale microelectronicii; astfel în locul microcomutatoarelor electromecanice s-au folosit senzori electronici care funcționează fără atingere (fără uzură), rezultând o foarte lungă durată de viață; informațiile primite de la senzori sunt prelucrate în broasca cu blocare de către un sistem electronic, transformate în date seriale şi transmise mai departe unității de prelucrare printr-o interfață;

• **cheie de identificare (IDENT-KEY);** sistemul Ident-Key este constituit dintr-o unitate de prelucrare a datelor, o broască cu blocare cu cheie de identificare şi o rozetă specială cu accesorii; prin Ident-Key, firma EFF-EFF introduce o combinație între tehnica de încuiere mecanică şi transmiterea electronică a datelor şi informațiilor. Cheile aferente au o codificare specifică clientului, ele putând fi citite fără fir prin rozeta specială. Avantajul acestui sistem constă în posibilitatea folosirii unor chei provenind de la producători diferiți.

Caracteristici tehnice:

- memorie de coduri;
- zone de timp definite de utilizator;
- memorie de evenimente;
- memorie de programe sigură, la căderea rețelei;
- ceas de timp real cu data calendaristică;
- conectare la diverse tipuri de centrale;
- poate funcționa în regim „stand alone"; în acest caz, anumite persoane selecționate primesc, la anumite ore, dreptul de acces.

• **tastatură.**

Diferențele dintre activarea internă şi cea externă sunt următoarele:

- domeniul activat extern nu poate fi dezactivat decât de la dispozitivul, special, asociat;
- domeniul activat poate fi dezactivat de la oricare din panourile de operare;
- o alarmă provenită dintr-un domeniu activ extern nu poate fi oprită sau ştearsă decât după dezactivarea domeniului. Alarma se opreşte automat la dezactivare.

10.2.5. Avertizarea în instalațiile pentru detecția şi semnalizarea efracției şi agresiunii

Detectarea unui eveniment nedorit şi semnalizarea lui acustic şi/sau vizual reprezintă una din condițiile de bază pentru asigurarea unei securități corespunzătoare. De aceea, detectarea trebuie urmată imediat după o etapă de interpretare şi tratare a alarmei, de stabilirea unor semnificații unice, perfect înțelese de cei cărora le sunt adresate, în vederea eliminării consecințelor negative ale evenimentului care a declanşat alarma. Cele mai importante semnale de alarmare sunt următoarele:

Alarama de efracție

Semnalizează tentativa de pătrundere într-o zonă interzisă sau într-un moment nepermis (atunci când sistemul este activat). Semnalul este declanşat de unul din detectoarele sistemului de pază şi alarmare. Sirenele de avertizare sonoră sunt pornite şi este declanşată procedura de alarmare la distanță.

Alarma de sabotaj

Semnalizează o tentativă de sabotare a detectoarelor (distrugere fizică), de scurtcircuitare sau întrerupere a cablurilor de conectare, de acoperire a detectoarelor antimasking. La unele tipuri de centrale de efracție această semnalizare duce la declanşarea sirenelor de avertizare sonoră şi a procedurii de alarmă la distanță.

Alarma de agresiune

Sesizarea situației de agresiune este făcută de factorul uman: personalul de conducere, agenții de pază etc. prin acționarea unor elemente ca: butoane, pedale sau telecomenzi. Din această cauză amplasarea lor trebuie să fie corespunzătoare astfel încât acționarea să nu fie percepută de răufăcător.

Alarma de agresiune este semnalizată optic şi acustic (printr-un buzer de intensitate mică) la dispecerat, unde trebuie să existe proceduri şi persoane specializate pentru intervenție. Concomitent este pornită înregistrarea camerelor video care supraveghează zona respectivă şi este alarmată echipa de intervenție. Din punct de vedere al sirenelor de alarmare acest tip de alarmă este „tăcută".

Alarmarea la distanță

Reprezintă transmiterea semnalului de alarmă la o unitate specializată de intervenție cum ar fi: jandarmi, poliție etc. în vederea asigurării unei intervenții prompte. Alarmarea la distanță se poate face prin utilizarea de diferite canale de transmisie cum sunt:

- linii telefonice comutate; pe linia telefonică sunt montate „dialere" care pot memora un mesaj vocal de o anumită durată şi care pot apela mai multe numere de telefon în caz de alarmă şi transmite mesajul înregistrat;
- circuitele fizice dedicate; acest tip de legătură prezintă cel mai ridicat grad de siguranță; o linie închiriată constă dintr-un cablu dedicat care leagă, direct, dispeceratul cu o unitate specializată de intervenție; această linie este permanent supravegheată la întrerupere sau scurtcircuit, semnalizarea acestui eveniment făcându-se la unul dintre capetele legăturii;
- canale radio; sunt mai vulnerabile la acțiuni de sabotaj, au avantajul unor costuri de exploatare relativ reduse şi pot fi folosite şi ca rezervă a canalelor fir;
- rețea cu comutare de pachete X25; este o rețea digitală folosită pentru a transmite date de la o adresă la alta; fiecare mesaj este transmis sub forma unor pachete; pachetele, care nu sunt transmise în mod neapărat în ordine, sunt reasamblate la adresa de destinație pentru a recompune

mesajul; rețeaua este configurată, în mod obișnuit, pe linii închiriate;
- rețeaua cu comutare de pachete pe canale radio este similară cu rețeaua X25, cu diferența că, în acest caz, pachetele se transmit prin canale radio.

Alarma falsă

Apare datorită unei defecțiuni apărute în mecanismul de detecție și semnalizare. Dintre acestea cele mai frecventate sunt:
- funcționarea defectuoasă a unui detector din cadrul sistemului;
- interfețe de câmpuri electromagnetice;
- nerespectarea instrucțiunilor de instalare a elementelor mecanismului de detecție;
- factori de mediu sau catastrofe naturale;
- exploatarea incorectă a sistemului de către utilizator.

Cauzele alarmelor false sunt controlate și țin de:
- calitatea echipamentelor utilizate;
- soluția tehnică aleasă;
- modul de proiectare și execuție;
- modul de exploatare a sistemului.

10.2.6. Proiectarea instalațiilor pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii

Pentru a fi eficient, structura unui sistem de detecție a tentativei de efracție și agresiune se configurează ținând seama de următorii factori:
- tipul clădirii;
- localizarea, compartimentarea și ocuparea clădirii;
- elemente de protejat;
- clasa de securitate stabilă;
- căile de acces și distanță până la prima echipă de intervenție în caz de efracție;
- categoria, numărul și modul de utilizare a personalului de pază.

10.2.6.1 Dimensionarea supravegherii detecției efracției

Sistemele de alarmă împotriva efracției destinate instituțiilor financiar-bancare care, în conformitate cu prevederile Legii nr. 18/1996 privind paza obiectivelor, bunurilor și valorilor, necesită avizarea de către organul de poliție, trebuie să îndeplinească următoarele cerințe minime:

1. Să asigure protejarea zonelor:
   - căile de acces și spațiile spre exterior ale obiectivului (uși, ferestre, goluri tehnologice, curți interioare etc.); traseul interior al valorilor monetare va fi delimitat prin control acces și supravegheat cu detectoare de prezență;
2. Partiționarea sistemului (crearea mai multor domenii) și alocarea de elemente de activare/dezactivare locale pentru a se permite utilizarea independentă a anumitor zone și armarea acestora pe timpul programului de lucru când în celelalte zone există personal de lucru.
3. Alocarea fiecărui element de detecție din structura sistemului de alarmă la o zonă separată în centrala de alarmă; vor face excepție de la această regulă următoarele:
   - pedale și butoane de panică care se pot grupa câte trei dacă sunt alăturate;
   - senzorii de vibrații de pe pereți, plafonul și pardoseala tezaurului;
   - mai multe detectoare prevăzute în aceeași încăpere;
4. Asigurarea autonomiei energetice a sistemului în cazul căderii rețelei electrice de tensiune; subsistemul de alarmă antiefracție trebuie să dispună, obligatoriu, de o autonomie energetică de cel puțin 24 h în stare de veghe și 30 min. în alarmă și nu este comun din punct de vedere energetic cu alte subsisteme;
5. Amplasarea centralei de alarmă în zone greu accesibile pentru personalul neautorizat, mai puțin frecventat de personalul instituției și protejat suplimentar prin sistemul de alarmă, dacă în spațiul respectiv nu există personal de pază permanent.
6. Utilizarea de echipament ce dispune de facilitarea de memorare și listare de evenimente în timp real, partiționare și alocare de tastaturi alfanumerice precum și niveluri de autoritate pentru coduri.
7. Pentru instituțiile bancare, zonele care necesită protejare obligatorie sunt:

   a - *Zona antetezaur - tezaur*

   Această zonă va fi partiție separată de restul sistemului, cu tastatură dedicată, amplasată în antetezaur și va fi dezactivată numai pe perioada în care se introduc sau scot bani.

   Protejarea va consta în:
   - detectori de vibrație pe pereții exteriori, plafon și pardoseală a tezaurului;
   - contact magnetic la ușa tezaurului;
   - detector în dublă tehnologie și antimasking (opțiunea de antimasking va fi activată și pe perioada cât alarma este dezactivată);
   - detector de umiditate când tezaurul este amplasat la subsolul clădirii ori prin pereții acestuia sunt înglobate conducte de apă sau scurgeri;
   - buton de panică în antitezaur sau tezaur;
   - detector de prezență în dublă tehnologie pentru eliminarea alarmelor false în antetezaur.

   b - *Zona casieriei*

   Accesul din holul public spre holul de circulație personal în zona ghișeelor va fi limitat prin control acces.
   - ghișeele de plăți - încasări vor fi prevăzute cu sistem dublu pedale - butoane de panică;
   - biroul casierului șef va fi protejat cu detector de prezență și buton de panică;
   - la numărători se va prevedea buton de panică;

   Programarea avertizării la tentativa de „hold-up" va fi în „mod silențios" la tastatura personalului de pază.

   c - *Zona oficiului de calcul*
   - acces limitat prin yală electromagnetică;
   - încăperea se va proteja prin detector de prezență în dublă tehnologie.

   d - *Zona deținătorului de chei ale tezaurului*
   - se vor prevedea detectoare de prezență și butoane de panică în birourile acestora.

   e - *Zona postului de pază sau dispecerat*
   - control acces la ușa încăperii;
   - buton de panică;
   - videointerfon sau interfon cu legătură la postul exterior de la intrarea în unitate;
   - tastatura sistemului.

   f - *Zona ușilor de acces în instituție*
   - ușile de acces vor fi supravegheate prin contact magnetic sau detector de prezență;
   - dacă există ușa pentru acces personal se prevede controlul de acces la aceasta.

   g - *Zona spațiului centralei de alarmă*

   Spațiul unde se amplasează centrala de alarmă se va supraveghea cu un detector de prezență.
8. Avertizarea stării de alarmă cel puțin în două puncte depărtate din care unul exterior, cu ajutorul unei sirene cu autoalimentare, flash luminos, protejată la sabotaj și amplasată la înălțime mai greu accesibilă și bine fixată în zid.
9. Transmiterea automată a semnalului de alarmă la un dispecerat specializat sau anunțarea personalului propriu care răspunde de securitatea obiectivului prin apelator telefonic. Aceasta se poate realiza în 2 moduri:
   - prin comunicator digital telefonic sau radio la un dispecerat specializat prin intervenție;
   - prin apelator telefonic cu sinteză vocală.
10. Asigurarea posibilității de comunicare în afara orelor de program, din exteriorul obiectivului, cu personalul de pază din interior, prin intermediul videointerfonului sau interfonului.
11. Existența protecției la sabotaj pentru toate componentele sistemului

Nu se vor utiliza:
- sisteme cu dezarmare prin chei fizice sau prin telecomandă;
- centrale de alarmare care nu dispun de facilități de partiționare, memorare de evenimente în timp real precum și vizualizarea și listarea acestora, niveluri de autoritate pentru codurile de acces la sistem și tastaturi;
- proceduri de șuntare a elementelor de detecție fără ca centrala de alarmă să sesizeze evenimentul.

10.2.6.2 Calculul rețelei de centralizare a semnalizărilor

Rețeaua de centralizare are rolul de a prelua informațiile de la detectoare și de a le transmite centralei de efracție.

Rețelele de centralizare sunt realizate cu cabluri ecranate, în general, cu perechi torsadate, pentru reducerea la minim a perturbațiilor electrice și electromagnetice precum și pentru asigurarea tensiunii minime de alimentare a fiecărui detector din sistem.

Calculul rețelei de centralizare se face pentru determinarea secțiunii conductoarelor utilizate, astfel:
- se calculează consumul normat pe tronson plecând de la datele de catalog ale fiecărui detector (I_{tr});
- se calculează rezistența maximă acceptată pentru conductor astfel încât pierderea de tensiune să nu depășească limita maximă admisă:

$R = U_{adm} / I_{tr}$;
- se calculează secțiunea necesară a conductorului:

$A_{nec} = 2L/RK$,

unde:

L - este lungimea cablului,

K - conductivitatea specifică a conductorului.

În cazul utilizării unui cablu standard, pentru obținerea secțiunii necesare se pot lega în paralel mai multe conductoare ale acestuia.

10.2.6.3 Metode de reducere a alarmelor false

Situația ideală a unui sistem de securitate este lipsa alarmelor false. Din păcate, în practică, rata alarmelor false este foarte mare punând sub semnul întrebării însăși eficacitatea sistemului de securitate. Cauzele alarmelor false sunt controlabile și țin de:
- modul de proiectare și de execuție;
- calitatea echipamentelor utilizate;
- soluția tehnică aleasă;
- modul de exploatare a mecanismului.

Reducerea alarmelor false reprezintă una dintre sarcinile principale ale fazei de proiectare și implică atât corecta dimensionare a supravegherii, alegerea detectoarelor ce conțin circuite speciale de reducere a alarmelor false, cât și utilizarea unor funcții de prelucrare disponibile la nivelul unor centrale de efracție.

O astfel de funcție este: *alarmarea corelată a două grupe.* Alarma este generată numai dacă două grupe (între care există această corelație) semnalizează succesiv în cursul unui interval de timp determinat. Semnalizarea transmisă de una dintre grupe, declanșează o temporizare pe durata căreia se așteaptă o semnalizare de la cealaltă grupă. Alarma se generează numai dacă, înainte de terminarea temporizării, sosește o semnalizare de la cealaltă grupă. Această metodă de eliminare a alarmelor false verifică validitatea semnalizării atât în timp cât și în spațiu.

10.2.7. Exploatarea instalațiilor pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii

Acțiunea va fi făcută de beneficiar în conformitate cu proiectul de instalare și cărțile tehnice ale echipamentelor precum și cu normativele în vigoare. Aceste instrucțiuni vor indica:
- sarcinile personalului în cazul producerii unui eveniment;
- modul de exploatare și întreținere a instalației.

• Prelucrarea și prezentarea informațiilor

Sarcina principală a instalațiilor pentru detecția și semnalizarea efracției și agresiunii este, pe de o parte, detectarea și prezentarea unui eveniment într-o formă cât mai clară (eventual în limba română) la postul de supraveghere și, pe de altă parte, alarmarea la nivelul întregului obiectiv și la unitățile de intervenție.

Pentru instalațiile de complexitate mare se utilizează dispecerizarea informațiilor pe calculator. Această metodă are avantajul că semnalizarea primită va fi localizată grafic prin intermediul unui sinoptic. Graficul sinoptic permite o detaliere pe mai multe niveluri (planul general, planul simplificat al clădirii, planul unui nivel etc.) și conține simboluri care își schimbă forma și/sau culoarea în funcție de starea funcțională a dispozitivului asociat din teren (în ordine, alarmat, sabotat etc.).

Sistemul trebuie să permită memorarea unui număr de cel puțin 256 de semnalizări, astfel încât să fie posibilă o analiză post eveniment.

Tonalitatea alarmei sonore de efracție va fi astfel aleasă încât să nu se confunde cu alarma sonoră de incendiu sau cu alte alarme sonore. Alarma de agresiune va fi „tăcută".

Instalația va permite o serie de funcții de utilitate generală cum ar fi:
- blocarea sau deblocarea unor grupe;
- oprirea unei alarme sonore;
- activarea/dezactivarea unui domeniu.

• Modul de intervenție și conlucrare cu instalația

Detectarea unui eveniment (real sau nu) și semnalizarea acestuia printr-o alarmă, indiferent de tipul ei, trebuie urmată imediat de o etapă de tratare și interpretare a alarmei, precum și de un set de acțiuni care să asigure consecințe negative minime.

Orice alarmă recepționată trebuie verificată. Această verificare se poate face fie automat prin folosirea subsistemului de televiziune în circuit închis acolo unde este posibil, fie prin acțiunea directă a echipelor de intervenție.

Numai după etapele de verificare și evaluare se poate lua decizia dacă alarma a fost falsă sau nu. Dacă alarma nu a fost reală se trece la determinarea cauzei care a produs-o. Dacă alarma a fost reală, se trece la declanșarea procedurilor de intervenție și la stoparea evenimentului nedorit.

Arhivarea tuturor informațiilor și operațiilor efectuate de utilizator permit analiza posteveniment și sprijină activitatea de eficientizare a intervenției.

• Întreținerea instalației

Gradul mare de fiabilitate a instalațiilor moderne, precum și gradul mare de automatizare a echipamentelor utilizate simplifică foarte mult metodologia de întreținere. Verificările și operațiile de întreținere preventivă sunt prezentate de fiecare instalator în proiectul tehnic, cele mai frecvente fiind:
- trecerea automată pe alimentarea din bateria de acumulatoare la căderea rețelei;
- măsurarea tensiunii de încărcare a baterei de acumulatoare a cărei valoare trebuie să se încadreze în limitele 13,8 V +/-5 %;
- testarea prin sondaj a detectoarelor, a butoanelor și pedalelor prin declanșarea provocată a alarmei.
- realizarea de teste asupra centralei de efracție;
- verificarea condițiilor de mediu pentru detectoare (umiditate, praf etc.). Dacă se constată că detectoarele sunt acoperite cu praf se curăță prin suflare cu aer comprimat.

• Dispecerate de intervenție

Date fiind condițiile deosebite în care se desfășoară activitatea de monitorizare a alarmelor și a intervențiilor pentru anihilarea acestora, este necesară existența unui loc în care să se poată concentra funcțiile și serviciile de supraveghere și dirijare a intervențiilor.

Dispeceratul este locul de concen-

trare a tuturor informațiilor care provin dintr-o anumită zonă. Aceste informații pot veni fie de la detectoarele instalate în obiectivul protejat, fie de la echipele de supraveghere sau de la cei ce lucrează în obiectiv.

La nivelul dispeceratului central, informațiile privind starea de securitate a componentelor rețelei ajung pe următoarele căi:
- prin intermediul unui comunicator echipat cu interfață de apel telefonic;
- pe circuit fizic închiriat;
- prin intermediul unui comunicator echipat cu o interfață radio;
- printr-o rețea de comunicare de pachete X25;
- printr-o rețea cu comunicare de pachete pe canale radio.

Activitatea de intervenție se desfășoară cu participarea unor forțe umane special destinate pe baza unor informații reale și oportune primite de la dispeceratul de intervenție.

10.3. Instalații de control al accesului

10.3.1. Instalații de control și identificare

Principiul de bază constă în aceea că, la fiecare punct de intrare în zona protejată, există un dispozitiv care citește un identificator aflat în posesia solicitantului, analizează drepturile lui de acces și descuie ușa sau semnalizează interdicția. După ce o persoană a trecut (a fost acceptată), ușa se încuie în mod automat.

Controlul accesului permite oamenilor îndreptățiți să intre pe ușile prin care au voie să treacă, la momentele stabilite. Controlul accesului începe de la intrare și include toate punctele de intrare în zonele unde există riscuri. El minimizează costurile de pază, fără a compromite nivelul de securitate. Controlul accesului se realizează prin diferite tipuri de echipamente mecanice și electronice și se aplică, atât persoanelor, cât și autovehicolelor.

Cele mai simple instalații de control al accesului și cele mai ieftine, protejează locuințele, persoanele sau spațiile comune ale complexelor de locuit, permițând intrarea numai a persoanelor care dețin chei (fizice sau numerice) sau a celor acceptate de proprietarii locuințelor.

În instituțiile publice în care circulă un număr mare de persoane, controlul accesului are rolul de orientare și echilibrare a fluxurilor, de protecție a integrității personale, de verificare și control. Nu în ultimă instanță, instalațiile de control al accesului asigură taxarea automată și orientarea spre sectorul rezervat fără plasator. Se pot întâlni instalații de control al accesului la stadioane, parcuri de distracție, săli de concerte, spitale, universități, mijloace de transport în comun (metrou, tren etc.), parcări etc.

Identificatorii sunt, în aceste cazuri, simpli, ieftini și cu durată de viață redusă.

În ultima perioadă, echipamentele de control al accesului se constituie în instalații total automate care elimină complet prezența operatorului uman, într-o serie de activități și servicii, de exemplu, transportul cu telecabina, casieria automată, accesul la telecomunicații etc.

În instituțiile cu caracter deosebit, în care se desfășoară activități de mare importanță, secrete, cu caracter periculos sau în care sunt depozitate valori materiale importante sau informații secrete există, aproape fără excepție, instalații de control al accesului. Acestea blochează accesul persoanelor neavizate către zonele sensibile. Identificatorii sunt complecși, scumpi și, deseori, se utilizează mai multe elemente de verificare. De multe ori se controlează accesul în mai multe puncte de pe traseu, verificându-se atât intrarea cât și ieșirea prin punctul respectiv. Toate solicitările de trecere sunt centralizate și arhivate de către un echipament central. Se pot întâlni astfel de instalații de control al accesului la bănci, laboratoare, centrale nucleare, unități militare, întreprinderi de distribuție a energiei electrice, centre de calcul etc.

Instalațiile de control al accesului sprijină efortul organizatoric al administrației prin eliminarea deplasărilor neproductive ale personalului și înregistrarea timpului de lucru. Instalațiile pot înregistra, automat, momentele de sosire și plecare și oferă baza de calcul pentru pontaj și salarizare. Instalațiile moderne gestionează prezența persoanelor sau a vehiculelor, pe zone și intervale de timp, și comandă, în mod automat, acționarea altor instalații din dotarea instituției (oprirea alimentării electrice, activarea supravegherii de efracție, blocarea ferestrelor etc.).

Domeniu de ultimă oră în preocupările pe plan mondial, comerțul electronic se bazează pe echipamente de identificare a indivizilor umani, fără de care nu se pot face confirmările de comenzi și plata electronică.

10.3.2. Interfoanele pentru imobil

Sunt instalații electrice moderne, complexe care au rolul de a permite comunicarea și accesul în imobil. Echipamentele pot fi prevăzute și cu diverse alte funcții de execuție care sunt transmise între postul de apel și postul apelat.

Interfoanele de imobil (fig. II.10.24) au derivat din instalații telefonice cu centrale locale care permiteau comunicarea dintre posturile interne, precum și din sistemele de comunicare din întreprinderi. Aceste aplicații industriale și-au găsit utilitatea și în zona aplicațiilor casnice. Desigur, atât centralele telefonice moderne de secretariat, cât și sistemele de alarmă antiincendiu și antiefracție de ultima generație au incluse și funcții de interfon de acces.

Principalele funcții pe care le are un interfon sunt:
- apelul posturilor interne;
- comunicația între postul extern și posturile interne;
- comanda de deschidere a ușii;
- menținerea ușii de acces închisă.

Alte funcții pe care le poate efectua un echipament de interfonie pot fi:
- aprinderea luminii pe căile de acces: scări, alei, holuri etc.
- autodetectarea imaginii video a zonei postului de apel;
- informații despre locatari (nume și numere de apartamente) în agende grafice fixe sau agende electronice;
- deschiderea ușii cu cod de acces, cartele sau telecomenzi radio, chei mecanice;
- acționarea întregii uși prin intermediul unei automatizări;
- comunicația și apelul între posturile interne;
- gestionarea mai multor puncte de acces de către același post intern;
- supravegherea video a altor spații, altele decât punctele de acces pietonal (garaje, rampe, alei).

Clasificarea interfoanelor

Din punct de vedere al tipului de comunicare ales de către proiectant se disting 2 modele de interfoane:
- *cu comunicație simplex* - la care sensul de transmitere a semnalului audio

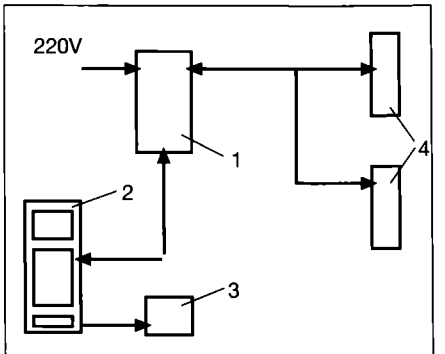


Fig. II.10.24. Schema bloc a unei instalații de interfon uzuală:
1 - centrală; 2 - bloc de apel; 3 - zăvor electromagnetic; 4 - posturi interne.

este comandat de la unul din posturile aflate în comunicație prin manevrarea unui comutator; comutatorul poate fi comandat manual sau activat de voce;
- *cu comunicație duplex* - la care semnalul audio este transmis în ambele sensuri, nefiind necesară manevrarea unui comutator.

În funcție de modul de apelare a posturilor interne se disting următoarele modele de interfoane:
- *apelare directă* - la care apelarea se face prin acționarea unui comutator corespondent postului intern apelat;
- *cod de apel* - la aceste modele este utilizat un cod pentru apelarea postului intern. Fiecare post intern are un cod unic, de regulă, numărul apartamentului.

Modul de cablare a instalației este alt criteriu de clasificare a acestor instalații. De regulă, interfonul se instalează după ce construcția a fost finisată, chiar după mai mulți ani de funcționare, și de aceea este necesară alegerea unei metode de cablare cât mai discretă și, în același timp, fiabilă și rezistentă în timp.

Fiecare model de interfon are o regulă proprie de cablare care este dată de modelul de echipament folosit și specificațiile producătorului și anume:
- *Interfoane cu comunicație simplex și apelare directă.* Cablarea acestui tip de instalație este axată pe o coloană comună care transmite semnalul audio, comanda zăvorului electromagnetic, comanda de comutație de sens audio, masa. Această coloană se completează cu semnalul de apel pentru fiecare post intern. Astfel rezultă o coloană comună de 4 fire completată cu coloana de apel care conține un număr de fire echivalent cu numărul apartamentelor de pe scară.
- *Interfoane cu comunicație duplex și apelare directă.* Cablarea se face în funcție de amplificatorul folosit și de complexitatea echipamentului. Pentru echipamentele clasice de interfon sunt folosite 4 fire pentru coloana comună (masă, microfon, difuzor, zăvor electromagnetic) și un fir de apel pentru fiecare post intern. Pentru unele echipamente moderne, coloana comună este reprezentată de un singur fir care se conectează la masa echipamentului, firul de apel individual fiind folosit, după selectarea postului intern, pentru completarea funcțiilor de comunicație și comandă a zăvorului electromagnetic.
- *Interfoane cu comunicație duplex și apelare prin cod de apel.* Aceste echipamente sunt cel mai des utilizate în echiparea modernă a imobilelor.

În funcție de varianta constructivă aleasă de proiectant se disting două modele de echipament:
- *Interfoane cu centrala de distribuție monobloc.* La aceste echipamente tipul de cablare este matriceal. Codul de apel este dat, de obicei, de numărul apartamentului. Regula de cablare este dată de conectarea polarizată a posturilor interne la intersecția coloanei de zeci cu coloana de unități. Prin apelare este selectată linia formată din zeci și unități (de exemplu, 7 zeci, 2 unități = ap. 72 = cod 072. Pe linia selectată sunt executate celelalte funcții ale interfonului. Instalația conține astfel maxim douăzeci de fire pentru cablarea unei scări cu 99 de apartamente.
- *Intefoane cu amplificator și distribuitoare de palier.* Acest model de interfon folosește pentru transmiterea informațiilor o coloană formată din 4 fire iar la fiecare palier este instalat câte un distribuitor care poate gestiona un număr de 4 - 6 posturi interne. Codificarea și programarea posturilor interne se face din distribuitoare. Aceste modele de interfon, deși mai economice la instalare, sunt mai puțin fiabile datorită distribuitoarelor de palier care pot fi ușor agresate și distruse.
- *Videofoane, interfoane cu agenda electronică etc.* Instalarea și cablarea acestor echipamente va fi făcută în funcție de specificațiile producătorului. De obicei, pentru fiecare model de echipament, producătorii atașează și documentația tehnică necesară instalării și conectării cu alte echipamente.

Echipamente anexe, dotări suplimentare

Interfoanele sunt instalații complexe care integrează, pe lângă echipament electronic performant, și elemente de automatizări și feronerie din ultima generație.

Ușile de acces în imobile sunt utilizate foarte frecvent și din această cauză se uzează foarte rapid. Aceste uși trebuie reparate înaintea dotării lor cu sisteme de închidere.

Pentru asigurarea închiderii corecte a ușii de acces este obligatorie montarea unui amortizor. Acest dispozitiv va fi ales în funcție de dimensiunea ușii, traficul pe această ușă, curenții de aer din bloc și din afara blocului, sensul de deschidere a ușii, poziția de instalare a amortizorului. Această dimensionare va fi făcută pentru a evita distrugerea amortizorului.

Elementul de execuție pentru deschiderea ușii este un zăvor electromagnetic. În funcție de varianta constructivă se disting două modele de yale electromagnetice:
- *Zăvoarele electromagnetice simple.* Acest dispozitiv funcționează în legătură directă cu o broască mecanică cu butuc. Broasca se încastrează în ușă, iar zăvorul se încastrează în tocul ușii. Ușa se descuie cu cheia din exterior, electric, prin comanda dată de interfon sau cu clanța din interior. Aceste modele de zăvoare electromagnetice pot avea sau nu memorie mecanică.
- *Broaște electromagnetice monobloc.* Aceste dispozitive pot fi aplicate sau încastrate în ușă. Ușa se descuie cu cheia din exterior, electric, prin comanda dată de interfon sau prin acționarea mecanică din interior a mecanismului de deblocare. Toate aceste modele de broaște electromagnetice sunt dotate cu memorie mecanică. Acest sistem permite acționarea electromagnetului pentru scurt timp, dar ușa rămâne deblocată.

Este esențial ca sistemul de închidere folosit să se autozăvorască pentru a menține ușa închisă.

10.3.3. Metode și tehnologii de identificare în instalațiile de control al accesului

Prima etapă în controlul accesului, identificarea solicitantului, trebuie să rezolve o serie de probleme, unele dintre ele contradictorii:
- identificarea trebuie să fie sigură: să nu accepte un intrus, dar nici să nu refuze un îndreptățit;
- identificatorul trebuie:
  - să fie simplu, ieftin, comod de păstrat și de utilizat;
  - să asigure un grad acoperitor de unicitate;
  - să nu poată fi copiat sau utilizat de cineva care l-a furat;
  - să prezinte o anumită rezistență la uzură și să-și păstreze proprietățile în timp.

Două metode principale de identificare sunt utilizate în instalațiile de control al accesului: metoda utilizării unui identificator aflat în posesia solicitantului și metoda identificării biometrice.

10.3.3.1 Tehnologii de realizare a identificatorilor

Cartelele magnetice reprezintă o soluție economică și des utilizată, atât în instalațiile de control al accesului cât și în instalații de taxare automată sau de operațiuni bancare automate. Cartela este realizată prin aplicarea unei benzi magnetice standard pe un suport de hârtie (carton) sau material plastic.

Cartelele magnetice pe suport de hârtie sunt utilizate pentru aplicații de scurtă durată și au preț foarte scăzut, de regulă, cuprins în prețul activității pe care o taxează (precum la metrou, parcări automate etc.). Cartelele magnetice din material plastic, mai rezistente, sunt utilizate în instalații curente de control al accesului, precum și în operații de casierie automată.

Dimensiunile standardizate (85,7 x 54 x 0,8 mm) și suportul din material plastic permit o păstrare sigură în portofel sau în buzunar. Codul este înregistrat pe una dintre cele 3 piste existente pe banda magnetică. Pentru codurile de control al accesului se utilizează pista 2 (cu densitate de 75 bpi) și/sau pista 3 (cu o densitate de 210 bpi). Se utilizează două tipuri de bandă magnetică, diferențiate prin valoarea coercitivității magnetice a materialului: LOCO („low coercitivity" - 300 Oerstedt) și HICO („high coercitivity" - 4000 Oerstedt).

În vederea asigurării unei protecții sporite a cartelelor magnetice utilizate în instalații de control al accesului, se folosesc metode de codare brevetate. Alte firme utilizează codarea standard ISO 7810 care utilizează 107 digiți pentru codul numeric.

Citirea cartelei magnetice se face prin trecerea acesteia printr-un cititor echipat cu un cap magnetic. Citirea cartelei magnetice produce, în timp, uzura cartelei și a capului magnetic. Durata normată de funcționare a cartelei magnetice este de 18 - 30 de luni, dar se reduce la 10 - 15 luni în condițiile unei atmosfere poluate (cu praf sau alte particule abrazive). Cartelele magnetice sunt încă utilizate pe scară largă, mai ales acolo unde controlul accesului este combinat cu activități bancare sau de taxare automată.

Cartelele de proximitate oferă un grad mare de securitate și sunt aproape imposibil de copiat. Citirea cartelei de proximitate se face fără a necesita contact fizic. Cartela cu dimensiuni standard, conține un circuit electronic integrat și 2 bobine prinse într-un suport de plastic. Citirea identificatorului se face în apropierea unui cititor care emite permanent un câmp electromagnetic alternativ cu o frecvență de 125 kHz (sau 135 kHz). Apropierea cartelei în raza de citire produce alimentarea circuitului integrat din câmpul electromagnetic emis de cititor (câmpul de 125 kHz). Circuitul integrat utilizează cea de a doua bobină a sa pentru a emite, printr-un câmp electromagnetic de frecvență 62,5 kHz, codul său de identificare. Principiul este utilizat și la alte forme de identificatori (breloc, pastilă etc.). Există și tehnologii de proximitate care utilizează câmpuri electromagnetice de frecvență ridicată.

Tehnologia prezintă o serie de avantaje importante:
- pentru că procesul de citire se poate face prin orice material nemetalic, nu mai este nevoie de scoaterea identificatorului din geantă sau portofel;
- cititoarele pot fi ascunse, pentru protecție antivandalism sau din considerente estetice, în spatele unor pereți nemetalici, fără a afecta procesul de citire;
- citirea se poate face fără contact și, corespunzător, fără uzură; durata de viață a cartelei este nelimitată dacă se respectă indicațiile de păstrare și manipulare;
- procedeul permite etanșarea cititorului ceea ce asigură funcționarea în condiții grele de temperatură și umiditate;
- viteza de identificare este sporită prin rapiditatea citirii, dar și prin eliminarea timpului necesar pentru manevrarea identificatorului (scoatere din portofel, introducere în cititor, scoatere din cititor etc.).

Raza de citire este direct proporțională cu diagonala bobinei cititorului și, implicit, cu dimensiunile acestora. Sunt uzuale distanțe de citire nominale de 10, 15, 25, 75 cm.

Pentru distanțe mai mari, identificatorul este echipat cu o baterie miniatură și nu mai este necesară alimentarea lui din câmpul electromagnetic emis de cititor (aceste cartele sunt denumite „fără mâini", în sensul că este suficient ca solicitantul să dețină identificatorul asupra sa ca să fie recunoscut).

Această tehnologie este curent utilizată și pentru identificarea autovehiculelor. Există două posibilități de a citi un identificator montat pe un autovehicul:

- *Prin intermediul unei antene (bucle) îngropate* în sol în vecinătatea punctului de acces (pentru autovehicule punctul de acces poate fi materializat prin barieră , poartă etc., acționate automat). De regulă, antena are dimensiuni de 2-3 m lungime și de 0,4-1 m lățime și este poziționată transversal pe calea de rulare. Identificatorul poate fi citit în mișcare până la viteze de ordinul a 40 km/h, de la o distanță maximă variind (în funcție de producător) între 0,8 și 3 m.

- *Prin intermediul unuia sau mai multor cititori de proximitate* proiectați pentru funcționare în exterior, montați cât mai aproape posibil de calea de rulare, de regulă, integrați în structura constructivă a punctului de acces. Distanța de citire poate ajunge la 2...2,4 m.

Identificatorii de proximitate sunt tot mai des utilizați și pentru identificarea, urmărirea și gestionarea mărfurilor în magazinele și depozitele de mari dimensiuni sau a produselor în unitățile de producție.

Cartelele cu efect Wiegand sunt laminate din material plastic și conțin fire conductoare asamblate în straturi de mărimi diferite. Când cartela este mișcată într-un câmp magnetic fiecare fir transmite un impuls electric către bobina cititorului. Cartela trebuie să fie rigidă pentru a evita ruperea firelor. Unele cititoare folosesc trecerea cartelei prin cititor tocmai pentru a evita deformarea acesteia. Foarte utilizați la un moment dat, identificatorii cu efect Wiegand sunt tot mai rar aplicați în instalațiile moderne, fiind eliminați, fie de prețul redus al identificatorilor cu bandă magnetică, fie de performanțele mai bune ale identificatorilor de proximitate.

Cartelele inteligente (smart card) conțin un circuit integrat microprocesor care oferă un grad de securitate deosebit.

Pentru smart card-uri există standarde ISO care impun producătorilor caracteristici ce le fac cea mai bună alegere pentru o tehnologie contactless, ceea ce le face utilizabile într-o gamă de aplicații, nu numai în controlul acces electronic. Există două tipuri mari de smart card-uri:
- cele cu contact fizic între cartelă și cititor și
- cel fără contact.

Cele cu contact nu sunt optime pentru control acces electronic din cauza timpului mare de procesare. Pentru control acces se folosesc smart card-urile bazate pe tehnologia RF13.56 MHz.

Din punct de vedere constructiv smart card-urile se împart în:
- carduri cu memorie (memory card);
- carduri cu logică, cablată (wired logic);
- carduri inteligente bazate pe microcontroller (MCU).

Cardurile cu memorie au în componența lor un circuit în care sunt stocate informațiile de autentificare prin care se face accesul în zona de memorie protejată în care se află un unic număr de identificarre. Unele dintre ele folosesc diverse metode de criptare a informației.

Cardurile cu logică, cablată folosesc un circuit electronic special pentru autentificarea dintre card și cititor. Acetea nu pot fi recrise/reprogramate după producere.

Cardurile MCU sunt cele mai „inteligente" având posibilitatea de a folosi diverse metode sofisticate de autentificare și criptare chiar pe card însuși și

au o interacțiune inteligentă cu cititorul. Ele au o capacitate de memorie destul de mare și rulează așa numite sisteme de operare de card tip MULTOS sau JavaCard. Acest tip de card permite utilizarea zonelor de memorie pentru mai multe aplicații, accesul la fiecare zonă de memorie făcându-se prin intermediul unei chei de acces (publică sau privată). În plus, între card și cititor are loc un proces de autentificare mutuală. Comunicarea dintre card și cititor se face criptat folosind algoritmi avansați gen DES/3DES/RSA etc. Capacitatea de scriere/citire a acestor carduri permite stocarea de informații gen template biometric sau cod PIN și elimină necesitatea interogării unei baze de date comune. De asemenea, aceste carduri constituie suport pentru tehnologii hibride:
- contact smart card,
- proximitate,
- biometrie,
- bandă magnetică,
- printare logo,
- holograme etc.

Fiecare astfel de ca are un număr unic de identificare numit CSN - Card Serial Number - alocat la momentul producerii. Folosirea acestuia în scopul de a controla accesul nu este recomandată deoarece acesta nu este criptat și poate fi citit cu orice cititor compatibil. Standardele care stau la baza funcționării acestor tipuri de carduri sunt ISO/IEC 14443 și ISO/IEC 15693. Fiecare dintre aceste standarde are o serie de implementări ce răspund anumitor cerințe de pe piață (cele mai cunoscute fiind MIRARE și iCLASS). Diferențele principale între cele două tehnologii constau în: raza de citire, viteza de transfer a datelor și dezvoltarea anumitor facilități. Anti-coliziunea este un termen ce reflectă capacitatea cititorului de a distinge și a citi mai multe carduri prezente simultan în câmpul de citire. Avantajele tehnologiilor fără contact sunt:
- este foarte ușor de folosit, nu necesită o orientare anume a cardului și nici introducerea lui într-un anume cititor;
- viteza mare de transfer a datelor și de acces;
- asigură o protecție mare a datelor codate în card;
- durabilitate a cardurilor și cititoarelor;
- nu pot fi falsificate ușor;
- se pot integra cu diferite tehnologii;
- mentenanță ușoară pentru citirea împreună cu protecția anti-vandalism.

Alte tehnologii de identificare, precum *identificatori cu ferită de bariu, identificatori în infraroșu, identificatori cu cod de bare,* nu mai sunt aplicate în instalațiile moderne sau își limitează domeniul de utilizare la alte aplicații (precum utilizarea identificatorilor cu cod de bare pentru gestionarea mărfurilor în magazinele și depozitele de mari dimensiuni).

Telecomanda pe canal radio sau în infraroșu reprezintă o altă tehnologie de identificare pentru instalațiile de control al accesului, mai ales pentru controlul autovehiculelor. Pentru a fi utilizată ca identificator, o telecomandă trebuie să fie capabilă să-și transmită propriul cod, pe baza căruia să fie analizat dreptul de acces prin punctul respectiv. Unele instalații moderne permit conectarea la telecomandă a unui dispozitiv de citire a identificatorului aflat în posesia utilizatorului (de exemplu, o cartelă de proximitate). Telecomanda transmite dispozitivului de control al accesului, atât codul propriu, cât și pe cel al utilizatorului.

Utilizarea telecomenzilor pe canal radio sau în infraroșu ridică probleme de utilizare datorită razei mari de acțiune (uzual, 5...20 m) și trebuie asociată cu măsuri organizatorice și constructive pentru a se evita confuziile.

Codul individual (PIN) este un cod numeric care trebuie tastat pentru a identifica solicitantul. De regulă, acest cod individual este utilizat împreună cu identificator pentru a se evita accesul cu un identificator furat sau găsit.

Se practică coduri de identificare numerice de 4 la 8 cifre.

10.3.3.2 Metode biometrice de identificare

Toate metodele de identificare prezentate anterior sunt vulnerabile la furt sau chiar duplicare. Cititorul recunoaște identificatorul și nu pe posesorul acestuia. Până și codul individual poate fi furat sau copiat (prin observație, înregistrare video, deconspirare etc.).

În cazul instalațiilor de control al accesului cu grad mare de siguranță, în vederea reducerii până la anulare a posibilităților de pătrundere frauduloasă, s-a recurs la metode biometrice de identificare. Utilizate inițial în domenii speciale, precum criminalistică, robotică, cercetări militare, cercetări spațiale etc. (datorită în mare parte prețului prohibitiv), aceste metode au migrat spre domeniul instalațiilor cu spectru larg de aplicare, în special, datorită evoluției echipamentelor de prelucrare numerică a informațiilor.

Metodele biometrice de identificare utilizează diferite caracteristici specifice ființei umane, caracteristici care, prin complexitate și diversitate în raport cu indivizii, permit identificarea univocă a unei persoane. Trebuie remarcat că prelucrările de informații sunt foarte complexe pentru că se lucrează cu caracteristici care includ mulți parametri, cu grad mare de variație pentru același individ (în funcție de starea lui: obosit sau odihnit, răgușit, cu barbă sau fără etc.).

Cele mai utilizate caracteristici biometrice pentru identificare sunt: amprenta digitală, amprenta palmară, vocea, fizionomia, mimica, irisul.

Analiza amprentei digitale presupune mai multe etape, o etapă de înregistrare și apoi verificarea propriu-zisă. Înregistrarea se face o singură dată, iar datele se memorează în instalația de control al accesului, reprezentând marca după care se va verifica, ulterior, individul respectiv. Citirea amprentei și digitalizarea informației se realizează prin intermediul unui senzor cu matrice CCD (precum senzorii utilizați în camerele TV moderne). Fișierul obținut în urma citirii amprentei digitale, care are inițial o mărime de cca. 150 KBytes, suferă 2 etape de comprimare, ajungând succesiv la dimensiuni de 20 KBytes și, respectiv, 1,2 KBytes. Acești 1200 de Bytes reprezintă „marca" care va fi utilizată la verificare. Procesul de înregistrare se completează cu alte 2...4 citiri ale căror date sunt analizate statistic, în vederea memorării numai a caracteristicilor care să permită apoi identificarea sigură (echipamentul trebuie să realizeze identificarea, chiar dacă degetul a suferit tăieturi fine sau zgârieturi, este puțin murdar sau amplasat puțin diferit pe dispozitivul de citire). Etapa de înregistrare durează până la un minut, dar trebuie realizată o singură dată.

Verificarea presupune citirea amprentei, analiza informației digitale, fără a mai fi nevoie de comprimarea datelor, comparativ cu „marca" înregistrată inițial. Dacă prin comparare se obține un procent de identitate mai mare decât o limită prestabilită, se acceptă identificarea. În etapa de verificare se realizează și o analiză a modificării culorii degetului produsă de variația fluxului de sânge datorată presării sale pe suprafața senzorului. Această analiză elimină posibilitățile de fraudă prin copierea amprentei pe un material adecvat (de exemplu, silicon) sau utilizarea unui cadavru. Timpul de verificare este de 1,5...2 s. ceea ce face ca această metodă să fie adecvată instalațiilor de control al accesului.

Procentajul de reușită a verificării este foarte bun, teste de laborator estimând rata de eroare la una la un milion pentru identificare greșită (acceptarea greșită a unui individ) și una la zece mii pentru o respingere greșită (respingerea unui individ care are drept

de acces). Între cei doi parametri de estimare a erorilor există un echilibru dimanic. Algoritmul de verificare se poate modifica prin program astfel încât unul dintre parametri să fie îmbunătățit în defavoarea celuilalt, în funcție de principalele deziderate ale instalației de control al accesului (asigurarea unei identificări foarte sigure astfel încât un intrus să nu poată intra sau asigurarea unui flux de trecere mare, negrevat de refuzuri eronate de intrare).

Analiza amprentei palmare se realizează similar cu cea a amprentei digitale. Citirea amprentei palmare se face, însă în infraroșu cu senzori realizați din semiconductori. Cititorul este dotat cu un echipament mecanic care să impună amplasarea mâinii într-o poziție cu variabilitate cât mai mică.

Analiza și recunoașterea vocii reprezintă un domeniu de cercetare destul de vechi, cu aplicabilitate în comanda vocală a echipamentelor (roboți, calculatoare etc.) sau în dictarea automată. Analiza vocii presupune, de asemenea, 2 etape, una pentru memorarea unui mesaj specific, cealaltă pentru recunoașterea sau identificarea unui vorbitor al cărui mesaj caracteristic a fost înregistrat în prealabil.

Modelarea semnalului audio pentru identificarea unui vorbitor poate fi împărțită în 4 operații de bază: formare, analiză spectrală, transformare parametrică și modelare statistică. Modelarea semnalului este orientată pe utilizarea unor parametri analogi celor utilizați de sistemul biologic de auz, numiți parametri cu înțeles perceptual.

Acești parametri trebuie să fie invariabili în funcție de intensitatea sau tonul vocii, de zgomotul de fond sau microfonul utilizat.

Suplimentar, echipamentele moderne realizează o corelare temporară, înregistrând modificările spectrale apărute în timp.

Algoritmii de modelare, care descriu în mod concis semnalul și pot fi prelucrați în echipamente locale de control al accesului, sunt preferați altor metode.

Fizionomia reprezintă o altă caracteristică individuală des utilizată pentru identificare.

Identificarea după fizionomie se poate face *semiautomat sau automat.*

Identificarea semiautomată se bazează pe înregistrarea prealabilă a imaginii (fotografiei) fiecărei persoane care va solicita verificarea de către instalația de control al accesului. In cazul unei solicitări de acces făcută, de regulă, printr-un alt indicator, pe ecranul calculatorului sunt afișate atât imaginea memorată (fotografia), cât și imaginea directă (în timp real) preluată printr-o cameră TV amplasată la punctul de intrare respectiv. Un operator uman compară cele două imagini și acceptă sau refuză solicitarea persoanei respective. Utilizată în instituții cu grad mare de siguranță și în care prezența unui operator uman (paznic, dispecer etc.) este solicitată și din alte considerente, această metodă are dezavantajul de a nu fi automată, presupunând prețuri de exploatare mai mari și eventuala eroare umană.

Identificarea automată se realizează prin analiza pe calculator a gradului de coincidență între imaginea memorată și imaginea directă. Pentru simplificarea analizei, imaginea directă este formată din una sau mai multe fotograme (cadre), comparația facându-se cu entități de același tip. Avantajul metodei de a oferi prețuri de exploatare mai mici este compensat de procentajul, relativ mare, de refuzuri eronate, datorat modificărilor normale ale fizionomiei unui individ (odihnit sau obosit, ras sau neras, fardat sau nefardat, lovit etc.).

Mimica: procedee moderne analizează și memorează o „marcă" a expresiilor feței pe care apoi o utilizează pentru verificarea și identificarea unui individ. Aceste caracteristici sunt mult mai invariabile și procentul de eroare este mult mai mic. Producătorii acestor echipamente garantează recunoașterea sigură a unui individ, indiferent de starea lui (odihnit sau obosit, ras sau neras, fardat sau nefardat, lovit etc.).

Analiza mimicii se poate asocia cu recunoașterea vocii, în vederea creșterii gradului de securitate, dar și în vederea provocării unei anumite expresii la solicitant.

Analiza irisului este similară analizei de amprentă. Citirea se face prin intermediul unui senzor CCD, iar prelucrarea datelor se face pe baza unor algoritmi specifici. Inițial se înregistrează o „marcă" a fiecărei persoane care va solicita accesul și, apoi, se realizează verificarea și identificarea la fiecare trecere prin punctele de acces.

10.3.4. Echipamente pentru controlul fizic al accesului

Controlul accesului persoanelor sau autovehiculelor presupune existența unor echipamente mecanice care să delimiteze strict zona supravegheată și să permită trecerea numai la comanda instalației de control al accesului.

Bariera acces auto reprezintă echipamentul folosit pentru controlarea traficului auto în punctele de acces și este, deobicei, primul contact cu un sistem de control acces. Bariera este un echipament electromecanic echipat cu o unitate electronică de control, un element de acționare și brațul barierei.

Pentru o funcționare în siguranță se folosește o fotocelulă de siguranță, care permite blocarea brațului barierei în cazul prezenței unei mașini sau a unei persoane în spațiul de acționare al barierei. În multe aplicații se folosesc și sisteme de semaforizare care reglează accesul la barieră. În mod uzual, bariera poate fi folosită și fără o comandă dintr-un sistem de control acces, folosindu-se doar o telecomandă radio sau butoane de comandă (închis/deschis). Bariera poate funcționa în regim:

- manual - comenzile de deschis/închis fiind date de un operator folosind o cheie, butoane de comandă sau o telecomandă radio. În acest regim comenzile de închidere și deschidere sunt date separat, iar între cele două comenzi bariera rămâne închisă.
- automat - comenzile sunt date dintr-un sistem de control acces. În acest regim comanda este dată de la un

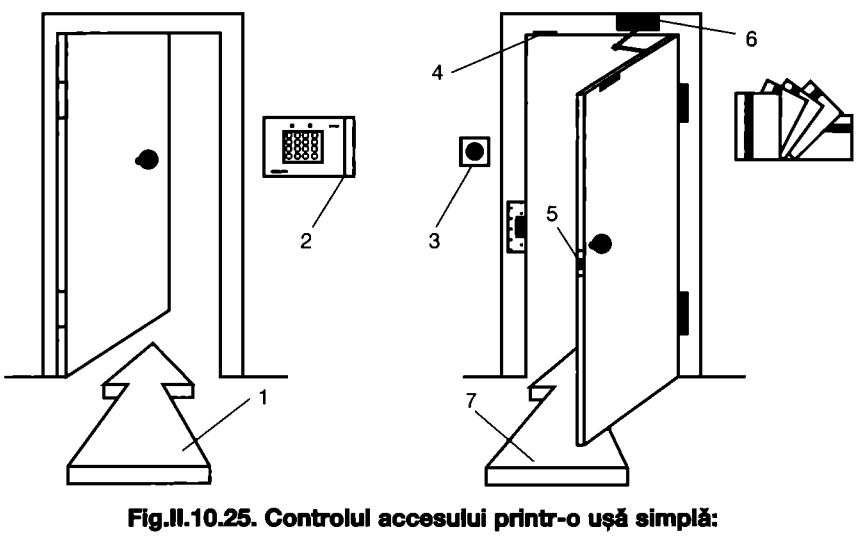


Fig.II.10.25. Controlul accesului printr-o ușă simplă:
1 - intrare; 2 - cititor; 3 - buton deblocare; broască electrică; 4 - contact magnetic; 5 - broască mecanică; 6 - mecanism închidere; 7 - ieșire.

echipament de control suplimentar, iar tipul de deschidere este programat de unitatea de control a barierei.

Barierele diferă din punctul de vedere al tipului de aplicație:

- de trafic intens sau redus.

Pentru trafic intens barierele au un timp de deschidere mai mic - în funcție de lungimea brațului (2m-6m), de tipul constructiv (dintr-o bucată sau din două părți).

Metodele automate de accesare a barierelor sunt cu:

- tichete de parcare bazate pe bandă magnetică;
- jetoane de parcare;
- bucle inductive;
- cititoare auto (de proximitate sau de rază lungă).

Orice zonă cu restricții de acces auto impune folosirea unor astfel de bariere. Acestea nu asigură însă și securitatea pentru accesul pietonilor.

Porți de acces, sunt un tip aparte de „barieră" de acces auto. Acestea asigură o securitate mărită, atât pentru vehicule cât și pentru pietoni. În funcție de modalitatea de deschidere sunt:

- batante, când se deschid în lateral;
- culisante, când alunecă pe o șină metalică sau au o roată de deplasare.

Ambele tipuri de porți sunt acționate folosind elemente de automatizare comandate prin intermediul unei unități de control.

Ca și barierele auto pot fi conectate la echipamente de control acces pentru a primi comenzile deschis/închis. Timpul de deschidere/închidere este mult mai mare decât cel al barierelor. De aceea sunt folosite în aplicațiile unde numărul de vehicule este redus.

Ușa simplă reprezintă cel mai întâlnit punct de acces, dacă ea este echipată cu un zăvor pană, iar cadrul ei cu o broască electrică cu semicilindru (fig. II.10.25). Orice solicitare de acces, făcută prin trecerea identificatorului din posesia solicitantului prin dreptul cititorului (sau prin cititor), este analizată de instalația de control al accesului care, în cazul unei acceptări, comandă broasca electrică cu semicilindru și semnalizează, solicitantului, acceptul. Solicitantul are la dispoziție un timp delimitat (programabil) în care poate împinge ușa ca să intre. Zăvorul rotește semicilindrul broaștei electrice care a devenit mobil la comanda instalației, și permite deschiderea ușii.

Pentru închiderea automată, după trecerea unei persoane, se montează un mecanism hidraulic care trage (sau împinge, în funcție de modul de montare) ușa spre poziția închis. Datorită formei sale, zăvorul depășește semicilindrul broaștei electrice și se blochează în aceasta. Semicilindrul nu mai este mobil pentru că, la deschniderea ușii, comanda electrică de deblocare se anulează. Poziția ușii este monitorizată de un contact magnetic, precum și de un microcontact care sesizează prezența zăvorului în broasca electrică. Pe baza acestor contacte sunt semnalizate, instalației de control al accesului, situațiile anormale apărute, precum: deschiderea forțată a ușii (fără a utiliza identificatorul), menținerea ușii deschise prea mult timp etc.

Pentru ușile din sticlă, pe care nu se poate monta un zăvor (din considerente constructive sau estetice), se utilizează broaște electrice la care semicilindrul este înlocuit cu un element mobil, special, care ghidează și reține ușa.

În unele aplicații se dotează ușa cu o broască cu mâner care nu se deschide decât din interiorul camerei (echipare tipică pentru hoteluri). Zăvorul utilizat pentru controlul accesului este chiar cel care echipează broasca cu mâner. În acest caz microcontactul din broasca electrică este utilizat ca buton de deblocare a broaștei.

În alte aplicații ușa este echipată cu o broască cu motor electric care antrenează zăvorul. Alimentarea electrică și comanda de descuiere-încuiere se transmit printr-un cablaj mobil între cadrul ușii și ușă.

Ca element de încuiere a ușii cu comandă electrică se pot utiliza și electromagneți. Datorită faptului că electromagneții nu au părți în mișcare ei pot fi utilizați în zone cu pericol de incendiu.

În funcție de dimensiunile ușii și de greutatea ei se dimensionează atât elementul de încuiere (broască, electromagnet etc.) cât și mecanismul hidraulic de închidere automată.

În situația căderii alimentării cu energie electrică, echipamentele de blocare devin libere sau blocate după destinația ușii respective (de protecție sau de evacuare).

Ușa cu două aripi poate fi, de asemenea, utilizată ca punct de control al accesului. În acest caz echipamentul de blocare se fixează fie pe cadrul ușii fie pe una dintre aripi. Se va avea în vedere necesitatea blocării ambelor aripi ale ușii, precum și respectarea secvenței de închidere a aripilor ușii astfel încât ușa să poată fi blocată în poziția corectă.

Deosebit de avantajoasă din punct de vedere al prețului, soluția de materializare a unui punct de acces printr-o ușă dotată cu un echipament de blocare prezintă un mare dezavantaj, prin aceea că nu permite un control al accesului persoană cu persoană. Este suficient ca deținătorul unui identificator să deschidă ușa și prin ea pot trece și alte persoane până când mecanismul hidraulic închide ușa.

Turnicheții sunt cele mai simple echipamente care permit controlul accesului persoană cu persoană. În funcție de necesitățile de control al accesului, de fluxul prin punctul respectiv, de alte considerente constructive sau estetice se întâlnesc mai multe tipuri de turnicheți.

Turnichetul cu tripod (de tipul celor utilizați la metrou) este utilizat pentru fluxuri de 15...20 de persoane pe minut. Acest echipament de încadrează cu ușurință în cerințele estetice și funcționale ale ambientului, dar pot fi forțate prin depășire (sărire, încălecare). Se pretează foarte bine pentru controlul accesului și, eventual, taxarea automată în instituțiile publice și de divertisment, în trasportul în comun etc.

Turnicheții cu tripod pot fi unidirecționali (în acest caz se amenajează separat căi de intrare și căi de ieșire) sau bidirecționali și permit diferite tipuri de acționare din partea instalației de control al accesului.

În cazul acceptării unei solicitări de trecere:

- rotirea se face automat, imediat sau după o temporizare preprogramată;
- rotirea trebuie pornită de persoana care trece prin turnichet (cu mâna sau cu piciorul), după care rotirea se face în mod automat.

În cazul refuzului unei solicitări de acces, turnichetul va permite numai o rotire limitată a tripodului astfel încât să blocheze trecerea solicitantului, dar să nu afecteze integritatea corporală a acestuia.

Modelele evoluate de turnicheți cu tripod permit deblocarea căii de trecere atunci când primesc un semnal de urgență. Aceasta se realizează prin plierea acelei bare din trepied care se află, la momentul respectiv în poziție orizontală. La revenire, tripodul se rotește până când brațul pliat revine, sub acțiunea gravitației, în poziția inițială și se indexează.

Modelele evoluate de turnicheți controlează rotirea tripodului cu motoare de curent continuu supravegheate cu microprocesor asigurând un regim de viteză variabilă (accelerație și decelerație) pentru o trecere cât mai confortabilă.

Turnichetul cu rotire realizează un control sigur al accesului blocând orice încercare de trecere frauduloasă. Integrat, de regulă, în structuri metalice care țin de gardul întreprinderii sau de construcții ajutătoare, turnichetul posedă 3 sau 4 aripi realizate din bare metalice, trecerea efectuându-se printr-o rotire de 120° sau, respectiv, 90°.

Pentru situații speciale, turnicheții cu rotire se asociază cu alte echipamente

mecanice sincronizate care să permită introducerea prin punctul de acces a unor obiecte voluminoase (de exemplu, bicicleta). Acest tip de echipamente se utilizează, de regulă, la accesul în uzine, pe stadioane sau în aplicații unde există tendința de evitare a controlului sau taxării automate. De regulă, turnicheții sunt destinați aplicațiilor în aer liber și de aceea protecția la intemperii este deosebită (construcție din oțel inoxidabil, fie fier acoperit în zinc topit) și garantată 15...20 de ani.

Ușile rotative sunt echipamente de control al accesului pentru intrarea în clădiri, instituții publice etc, la care aspectul estetic joacă un rol important, integrat în arhitectura, de regulă, monumentală a clădirii respective. Ușile rotative sunt dotate cu 3 sau 4 aripi realizate din sticlă, trecerea efectuându-se printr-o rotire de 120° sau, respectiv, 90°.

Ușile rotative au și rolul de a asigura un grad cât mai mare de etanșare în vederea menținerii regimului termic din interiorul clădirii. Unele clădiri publice sunt dotate cu uși rotative care au numai rol de izolare a circulației aerului din interior. Aceste uși sunt, în general, masive și sunt acționate de persoanele care intră sau ies din clădire. Pentru a asigura o manevră comodă, rotirea ușii este asistată de un motor electric care însă nu face decât să susțină mișcarea impusă de trecător. Ușile rotative sunt, de regulă, construcții masive, unele dintre ele fiind chiar echipate cu geamuri antiglonț. În consecință, mișcarea ușilor este asigurată de motoare electrice supravegheate de circuite electronice. În practică, se întâlnesc mai multe modalități de declanșare a rotirii aripilor:

- declanșarea rotirii la acceptarea solicitării de acces solicitantul trebuie să intre prompt în ușa rotativă și să urmărească mișcarea acesteia;
- declanșarea rotirii după acceptarea solicitării de acces, dar numai după ce un sesizor special (sesizor optic sau covor sensibil amplasat la intrarea în rotativă) detectează prezența solicitantului în poziția de trecere;
- declanșarea rotirii după acceptarea solicitării de acces, dar numai dacă mișcarea este pornită de către solicitant; solicitantul trebuie să rotească aripa care blochează calea de trecere numai 2...3°, după care mișcarea este preluată de motorul electric până se ajunge în următoarea poziție de repaus.

Se asigură o mișcare cu viteză variabilă, cu accelerare până la o viteză convenabilă, apoi decelare până la o viteză mică astfel încât frânarea în poziția de repaus să nu provoace șocuri mecanice.

Ușile rotative sunt echipate cu senzori care opresc mișcarea dacă s-a detectat o prindere între aripi și partea fixă. Acționarea electrică este astfel supravegheată electronic încât întâlnirea unui obstacol (sau a unei opoziții la mișcare) duce la oprirea mișcării. După înlăturarea obstacolului mișcarea se reia.

Trecerea prin ușile rotative este posibilă, de regulă, bidirecțional. Trecerea într-un sens se face pe calea cea mai scurtă (prin rotirea aripilor cu 120°, de exemplu). Cealaltă cale (care ar presupune pentru trecere două rotiri succesive) este interzisă. Dacă o persoană pătrunde în acest sector, este detectată de sesizori optici sau de greutate. In acest caz ușa se mișcă în sens invers, o jumătate de rotație (60 °, de exemplu) astfel încât să permită ieșirea persoanei care a greșit, în direcția din care a venit. Tratarea erorii este prioritară regimului de control al accesului astfel încât un intrus nu poate folosi trecerea unei persoane cu drept de acces pentru a pătrunde în clădire pe calea interzisă.

Trebuie remarcat că majoritatea ușilor rotative nu sunt adecvate pentru ieșire în caz de urgență. De aceea în clădirile dotate cu uși rotative de acces se vor prevedea uși antipanică care se vor debloca numai în caz de urgență (incendiu, cutremur etc.). Echipamente foarte moderne au integrat funcția antipanică și realizează eliberarea căii de trecere prin plierea aripii aflată în momentul respectiv în poziția de blocare a căii, la un semnal de urgență.

Ecluzele sunt echipamente de control al accesului constituite din două uși care se deschid succesiv dacă sunt îndeplinite anumite condiții. În formă circulară sau rectangulară, ecluzele prezintă un grad ridicat de automatizare și, de regulă, asigură mai multe tipuri de verificări.

Funcționarea unei ecluze se realizează astfel:

- Persoana care dorește să intre prin ecluză prezintă identificatorul din posesie (cartelă, breloc, amprentă etc.). Instalația de control al accesului verifică identificatorul și acceptă sau

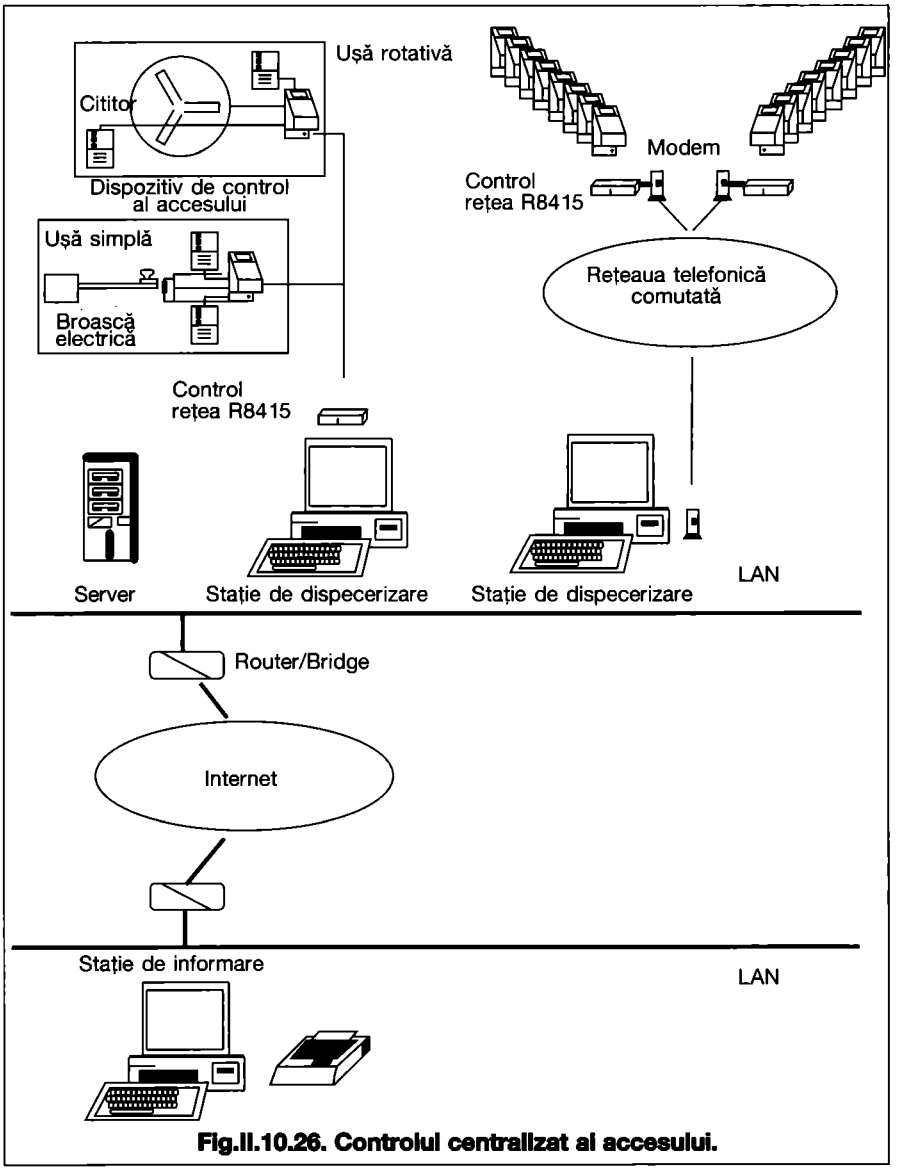


Fig.II.10.26. Controlul centralizat al accesului.

refuză accesul. În caz de accept se deschide prima ușă a ecluzei. Refuzul este semnalizat optic și/sau sonor.
- Persoana pătrunde în ecluză. Sesizoare optice sau de greutate detectează pătrunderea persoanei în ecluză și comandă închiderea primei uși.
- Urmează o a doua verificare a solicitantului. Această verificare poate avea ca scop confirmarea identității (de exemplu, controlul greutății, identificarea fizionomiei sau mimicii etc.) sau verificarea deținerii de arme sau eliminarea tentativei de trecere simultană a mai multor persoane. Dacă una dintre verificări are un rezultat negativ, de regulă, se deschide ușa de intrare astfel încât solicitantul să plece pe unde a venit. La unele echipamente, detectarea prezenței armelor provoacă blocarea persoanei din ecluză până la sosirea poliției. Dacă toate verificările din această etapă au rezultat pozitiv se deschide cea de a doua ușă și solicitantul intră în zona dorită.

Ecluzele permit și regimuri de lucru speciale (urgență, transport obiecte voluminoase etc.) în care una dintre cele două uși sau amândouă se deschid după necesități.

Barierele și porțile mobile sunt principalele echipamente pentru controlul accesului autovehiculelor. Funcțional, ele se comportă similar cu ușile simple. Pentru aplicații speciale două porți sau două bariere sunt integrate funcțional într-o ecluză asigurând un comportament similar.

10.3.5. Metode de control al accesului. Tipuri de instalații de control al accesului

Analogia dintre un punct de control al accesului și o ușă echipată cu o broască mecanică este numai punctul de plecare în evoluția instalațiilor de control al accesului. În funcție de necesitățile de control al accesului, de cerințele constructive ale clădirii sau de alte funcțiuni care pot fi integrate, instalațiile de control al accesului se remarcă printr-o diversitate de tipuri.

Controlul local al accesului este cel mai apropiat de analogia menționată. Aplicat, de regulă, pentru a controla intrarea și ieșirea printr-o ușă, instalația se compune din:
- cititor de identificare (de cartele, de amprente etc.) amplasat în exteriorul ușii;
- broască electrică montată în cadrul ușii, în dreptul unui zăvor pană, montat pe ușă; de regulă, broasca electrică conține un microîntrerupător care sesizează prezența zăvorului;
- contact magnetic care sesizează poziția ușii;
- buton pentru deblocarea ușii din interior; la unele aplicații, butonul din interior este înlocuit cu un al doilea cititor de identificare;
- dispozitiv hidraulic sau mecanic de închidere automată a ușii;
- dispozitiv de control al accesului.

Dispozitivul de control al accesului este un echipament electronic realizat cu microprocesor care realizează următoarele funcții:
- înregistrarea și memorarea caracteristicilor de identificare pentru toate persoanele care au dreptul de acces prin acel punct; aceasta se poate realiza prin preluarea directă a datelor (învățarea codului cartelei trecute prin cititor, înregistrarea „mărcii" biometrice caracteristice a persoanelor etc.) sau prin înscrierea de către un operator a datelor caracteristice (local printr-o tastatură sau consolă de programare);
- citirea unui identificator sau a „mărcii" biometrice caracteristice unui solicitant, compararea lor cu datele memorate, verificarea încadrării în intervalele de dată și timp admise și comanda broaștei electrice, în caz de acceptare a solicitării de acces sau semnalizarea refuzului;
- comanda broaștei electrice în cazul apăsării butonului din interior;
- semnalizarea optică și sonoră în cazul detectării unei anomalii (precum menținerea ușii deschisă un timp mai lung decât cel programat, deschiderea forțată a ușii depășirea unui număr programat de încercări de acces refuzate);
- memorarea unui număr de evenimente (solicitări de acces acceptate, situații anormale etc.);
- programarea unor parametrii specifici precum: zonele de timp, timpul maxim de deblocare a broaștei, timpul maxim de deschidere a ușii etc.

Controlul local al accesului se utilizează în aplicații simple în care numărul de puncte de acces și de solicitanți este redus, iar considerentele de preț prevalează în fața celor funcționale.

O rețea de puncte locale de control al accesului se poate constitui acolo unde centralizarea funcțiunilor este necesară, dar dificultățile de cablare (datorate, în special, instalării echipamentului ulterior lucrărilor de construcție sau reamenajare) nu permit pozarea cablurilor de comunicație. Această metodă de centralizare semiautomată care utilizează identificarea prin cartelă magnetică este aplicată pe scară largă în întreprinderile hoteliere.

Cititorul de cartelă magnetică și dispozitivul de control al accesului sunt integrate în broasca montată pe ușa fiecărei camere. Permisiunea sau refuzul accesului se realizează fizic prin blocarea și deblocarea broaștei care se manipulează, apoi, normal. Circuitul electronic al broaștei este alimentat din baterii, iar programarea lui se face manual cu ajutorul unei console de programare.

Spre deosebire de punctul de control al accesului, prezentat mai sus, la această aplicație o serie de date sunt înscrise pe banda magnetică a cartelei (ușile la care are drept de acces, perioadele de valabilitate ale drepturilor de acces, funcția cartelei respective etc.), ceea ce simplifică algoritmul de prelucrare a datelor de către circuitul electronic montat în broască.

Funcțiile specifice de centralizare a informațiilor și controlului sunt realizate pe 2 căi:
- prin sistemul de editare și administrare a cartelelor magnetice care gestionează distribuția camerelor de oaspeți, activitățile administrative sau situațiile speciale;
- prin citirea periodică, prin intermediul consolei de programare, a datelor memorate în circuitele electronice montate pe broaștele camerelor.

Acest tip de instalație este completată cu dispozitive de control al accesului care au alte destinații:
- accesul la parcare, piscină, sala de gimnastică și alte utilități;
- cuplarea tensiunii electrice de alimentare a instalației TV prin cablu etc.
- accesul la seiful camerei.

Existența cartelei magnetice ca identificator permite utilizarea ei și pentru activități de taxare automată sau plată electronică la magazinul hotelului, restaurant etc. Pentru aceasta sistemul de editare și administrare a cartelelor magnetice dispune de funcții dedicate acestor utilități.

Controlul centralizat al accesului se realizează prin conectarea în rețea a dispozitivelor de control al accesului împreună cu un calculator de coordonare și administrare a datelor (fig. II.10.26). Conexiunea în rețea mărește mult fiabilitatea și confortul operațional. Datele privind persoanele implicate în fluxurile de circulație, drepturile de acces ale fiecăruia, parametrii specifici fiecărui punct de acces sunt introduse prin calculator și transmise, în mod automat, dispozitivelor de control al accesului, distribuite în clădire.

Reciproc, dispozitivele transmit, spre calculator, toate solicitările de acces acceptate, semnalizările situațiilor anormale, informații despre propria stare de funcționare.

Acest tip de instalație prezintă un anumit grad de redundanță prin aceea

că, în caz de deranjament al rețelei, fiecare dispozitiv de control al accesului asigură, autonom, funcționarea integrală a punctului de acces pe care-l servește, pe baza datelor disponibile la data apariției deranjamentului. Dispozitivul asigură memorarea locală a datelor pe care le va transmite spre calculator atunci când conexiunea de rețea se repune în funcțiune.

Controlul centralizat al accesului asigură utilități suplimentare pentru o instalație de control al accesului, precum:

- *Condiționarea accesului de traseul urmat.* Instalația de control al accesului urmărește prezența fiecărei persoane într-unul din domeniile delimitate de punctele de acces și nu acceptă o solicitare de intrare decât dacă persoana respectivă „se află" în domeniul vecin. Suplimentar se cunoaște, în orice moment, numărul și identitatea persoanelor care se află în fiecare domeniu. Pe baza acestei utilități se pot implementa funcțiuni care țin de gestionarea clădirii precum activarea supravegherii antiefracției la părăsirea unui domeniu, deconectarea alimentării electrice etc.
- *Controlul patrulării.* Instalația realizează supravegherea automată a executării misiunilor de patrulare în clădire sau în jurul ei. Pe baza unor trasee declarate anterior, instalația așteaptă ca, în anumite intervale de timp, paznicii să prezinte identificatorii din posesie anumitor dispozitive de citire. Dacă nu se respectă traseul sau dacă timpul de așteptare este depășit, se generează o semnalizare de avertizare.
- *Gestiunea timpului de lucru.* Instalația poate urmări venirea și plecarea oamenilor la lucru, punând la dispoziție toate informațiile necesare pentru elaborarea pontajului și a calculului salarial.
- *Supravegherea generală a instalației dintr-un dispecerat.* Instalația asigură urmărirea în timp real a tuturor punctelor de acces, prin informații text sau grafice, precum și o serie de funcții de informare și autodiagnosticare. Unele metode de identificare sunt posibile numai în această configurație (identificarea prin analiza semiautomată a fizionomiei).
- *Preluarea, local sau de la distanță,* a datelor necesare pentru salarizare, analiza gradului de utilizare a forței de muncă etc.

Unele instalații de control centralizat al accesului dispun de o parte de „automat programabil" și pot prelua o serie de sarcini de gestionare a clădirii, precum controlul ascensoarelor, al porților de la garaje etc. Globalizarea comunicațiilor de date permite centralizarea distribuită a controlului accesului, cu mai multe centre de informare și operare, amplasate local sau la distanță. Comunicația datelor poate include diferite suporturi de transmisie precum rețele locale de centralizarea a semnalizărilor, rețele locale de calculatoare (LAN), sistemul de telefonie comutată, Internetul etc.

10.3.6. Proiectare

Proiectarea unei instalații de control al accesului se face pe baza cerințelor funcționale și implică o serie de analize și calcule care țin atât de configurația obiectivului, cât și de modul de organizare al activității. Principalele subiecte de analiză sunt prezentate în fig. II.10.27.

Alegerea amplasării punctelor de control al accesului și a tipului instalației. Analiza ce trebuie efectuată în această etapă pornește de la cerințele funcționale generale ale instalației și implică o serie de alți factori precum:

- căile de acces în obiectiv;
- valorile, datele secrete ce trebuie protejate, zonele cu grad mare de periculozitate;
- fluxurile de persoane și autovehicule caracteristice activității din obiectiv;
- necesități excepționale de acces în obiectiv sau în zonele de importanță deosebită;
- gradul de control al accesului pentru fiecare zonă;
- existența personalului de pază la punctele de acces sau în alte zone;
- specificul arhitectural și dotările existente referitor la căile de acces sau alte zone din obiectiv.

Rezultatele acestei analize se concretizează în amplasarea punctelor de control al accesului, stabilirea tipului instalației, definirea cerințelor de prelucrare a datelor și a principalelor funcții de utilizator.

Dimensionarea punctelor de control al accesului. Se realizează prin detalie-

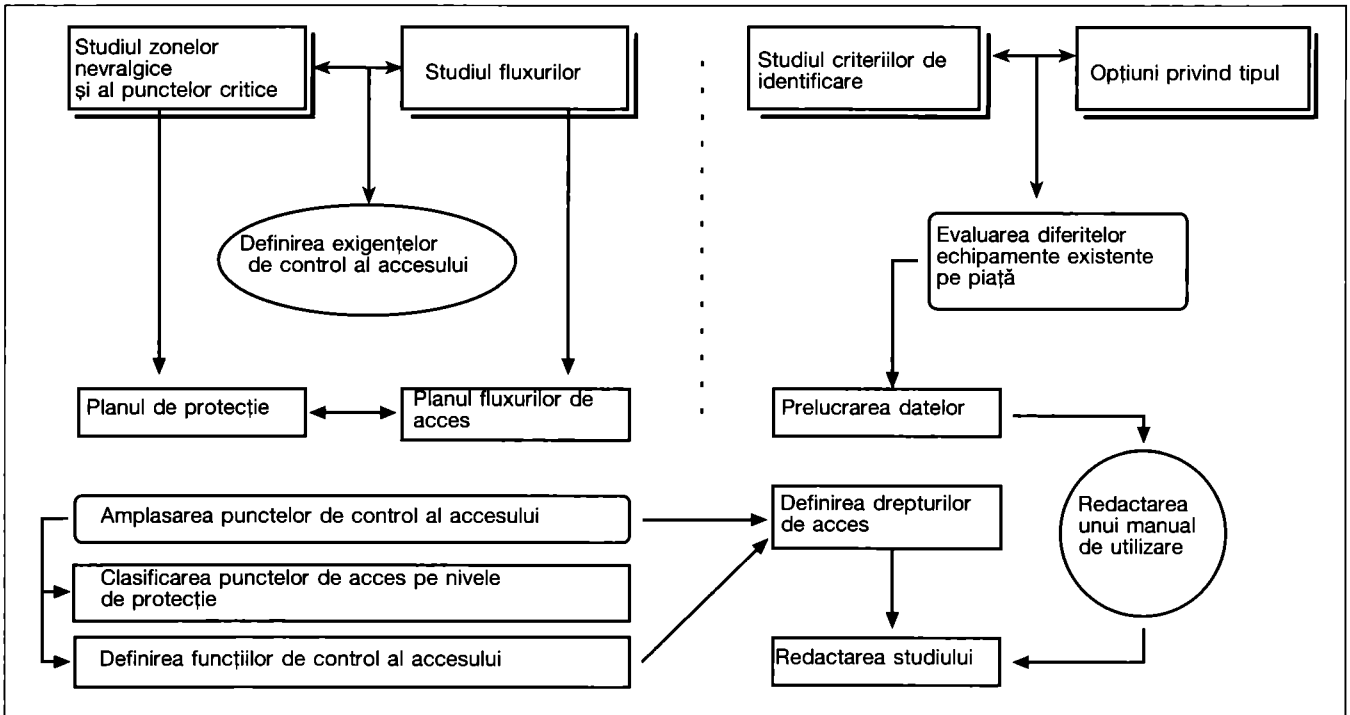


Fig.II.10.27. Etapele de elaborare a studiului privind alegerea punctelor de control al accesului și a tipului instalației.

rea cerințelor pentru fiecare punct de acces.

- Se alege echipamentul de control fizic al accesului în funcție de caracterul verificării: acces simplu, acces persoană cu persoană, verificare multiplă, prezența personalului de verificare.
- Se dimensionează numărul căilor paralele în funcție de timpul de trecere caracteristic echipamentului de control fizic ales, de timpul de identificare și de fluxul determinat la punctul anterior.
- Se dimensionează capacitatea de prelucrare locală a datelor în funcție de numărul de persoane care vor trece prin punctul de control al accesului, de necesitățile de memorare locală a evenimentelor, de alte sarcini de monitorizare și control.
- Se aleg canalele de comunicație necesare pentru programare date și citire memorie de evenimente în funcție de tipul instalației și cerințele de exploatare.

Dimensionarea calculatorului de coordonare a instalațiilor de control al accesului se realizează în funcție de:

- numărul total al persoanelor și/sau autovehiculelor care activează în obiectiv, permanent sau temporar, zilnic sau sporadic;
- numărul de puncte de control al accesului din sistem;
- perioada de timp pentru care datele memorate sunt ținute la dispoziția utilizatorului; după această perioadă datele pot fi arhivate;
- necesitățile de prelucrare a datelor, utilitățile de exploatare a instalației.

Dimensionarea rețelei de centralizare a datelor se face în funcție de tipul rețelei, distanțele dintre punctele de control al accesului, canalele de comunicație (circuit fizic, linii telefonice, canale radio etc.), alte considerente, precum telealimentarea etc.

Alimentarea cu energie a echipamentelor reprezintă un punct important în proiectarea acestui tip de instalații, datorită implicațiilor în protecția obiectivului și a integrității persoanelor. Rezervarea alimentării electrice cu surse neîntreruptibile și grupuri generatoare se impune ca soluție în obiectivele importante. Autonomia instalației la căderea alimentării de la rețeaua națională trebuie să rezolve cel puțin evacuarea personalului și protecția celor mai importante zone.

10.3.7. Exploatarea instalațiilor de control al accesului

Exploatarea dispozitivelor de control local al accesului

- Introducerea datelor pentru verificarea ulterioară a solicitanților se poate face prin învățarea identificatorilor sau a „mărcii" sau prin introducerea codurilor asociate prin panoul dispozitivului de control al accesului. Se mai introduc date privind intervalele de timp de permisiune a accesului, timpii caracteristici funcționării etc.
- Utilizarea punctului de acces de către o persoană se face prin prezentarea identificatorului. Dacă dispozitivul acceptă accesul, solicitantul are la dispoziție un timp prestabilit de intrare pe ușă. Dacă nu intră, punctul de acces se blochează. Dacă solicitantul a intrat la timp, el trebuie să permită închiderea ușii la un interval de timp altminteri se va declanșa o avertizare sonoră.

De exemplu exploatarea instalațiilor cu specific hotelier se face pe baza informațiilor memorate pe banda magnetică a cartelelor puse la dispoziția oaspeților și personalului propriu. Cartelele sunt codate specific pentru următoarele funcții:

- oaspeți: cartelă personalizată cu dată de expirare;
- administrator: cartelă pentru cei care au diferite sarcini tehnico-administrative (instalator, depanator, cameristă, șef de etaj, administrator general etc.);
- anulare administrator: cartelă care interzice accesul unui administrator;
- anulare oaspete: cartelă care blochează accesul oaspetelui pentru a-l forța să vină la recepție;
- apartament: cartelă care deschide toate ușile unui apartament;
- acces multiplu pentru oaspeți: cartelă care permite accesul până la 4 camere diferite;
- acces unic: cartelă care permite accesul o singură dată;
- urgență: cartelă care deschide toate ușile și anulează orice restricții declarate anterior;
- blocare: cartelă care blochează accesul în unele camere;
- învățare: cartelă care trece circuitul electronic al broaștei în regim de învățare (acest regim, utilizat numai în cazul defectării sistemului de editare și administrare a cartelelor magnetice, permite memorarea locală a cartelei de oaspete);
- diagnosticare: cartelă care trece broasca în regim de verificare stare funcțională și stare baterie.

Exploatarea instalațiilor centralizate de control al accesului se face centralizat sau distribuit, de regulă, prin intermediul unuia sau mai multor calculatoare legate în rețea. Conectarea calculatoarelor în rețea permite valorificarea datelor privind controlul accesului acolo unde acestea sunt necesare (la dispeceratul de administrare a clădirii, la serviciul personal, la serviciul salarizare, la serviciul comercial etc.)

Programul de centralizare și gestionare a datelor unei instalații de control al accesului are o multitudine de funcții specifice, precum:

- introducerea și exploatarea bazei de date de personal al instituției pe care o servește, asocierea identificatorului fiecărei persoane se poate face manual sau prin citirea acestuia cu ajutorul cititoarelor din sistem;
- modificarea parametrilor pentru fiecare post de acces;
- centralizarea și prelucrarea semnalizărilor de acces sau avertizare, informațiile sunt organizate într-o bază de date ceea ce permite prelucrări și valorificări ulterioare;
- editarea de programe „batch" (programe de comenzi) cu lansare automată la anumite momente (oră/tip de zi) (generări automate de liste, reorganizare fișier bază de date, schimbarea regimului posturilor de acces etc.);
- editarea și întreținerea unui calendar (de regulă, pe 4 ani);
- gruparea personalului pe diferite criterii (asocierea pe grupuri, secții, colective) în vederea exploatării bazei de date de înregistrări și programări globale a drepturilor de acces;
- controlul patrulării prin declararea de trasee și orare de parcurs de către gardieni, precum și supravegherea automată a acestora;
- controlul prezenței în anumite zone ale clădirii și emiterea unor comenzi către alte sisteme de semnalizare sau utilitare (precum sisteme de semnalizare a efracției, sistemul de alimentare cu energie electrică etc.), prin intermediul sistemului de administrare a clădirii („building management");
- modificarea automată a regimului punctelor de control al accesului (eliberare, blocare, controlul accesului cu una sau mai multe metode) în funcție de data curentă și intervalele orare, de semnalizări transmise de la sisteme de semnalizare sau utilitare (precum sistemul de semnalizare a incendiului, sistemul de detecție gaze etc.);
- facilitarea semnalizării stării de funcționare și a diagnosticării, sub formă grafică sau de text, pentru toate echipamentele care compun instalația de control al accesului.

Exploatarea curentă a instalației nu necesită intervenția unui operator, gradul de automatizare atins fiind destul de mare. Numai considerente speciale de securitate sau activități ale instituției, care pot fi sprijinite de datele înregistrate de către instalația de control al accesului, impun intervenția omului. Chiar și în acest caz, o serie de funcții se pot face în mod automat

(pontaje, state salarii etc.)

Întreținerea instalațiilor de control al accesului nu necesită cheltuieli importante și se limitează, de regulă, la verificarea și condiționarea echipamentelor de control fizic al accesului, curățirea cititoarelor acolo unde este cazul (cititoare de cartele magnetice, cititoare optice de amprentă etc.), arhivarea periodică a înregistrărilor din bazele de date.

10.4 Sisteme de supraveghere video

10.4.1. Introducere, prezetare generală

Sistemele de supraveghere video au devenit, cu timpul, o componentă cheie pentru asigurarea siguranței și securității pentru foarte multe organizații. Odată cu creșterea riscului de securitate, nevoia de monitorizare video și de înregistrare a evenimentelor a devenit din ce în ce mai importantă. Ca rezultat, multe organizații implementează astfel de sisteme pentru o gamă largă de aplicații și nu doar în domeniul strict al sistemelor de securitate. Trebuie spus de la început că aceste sisteme vin să completeze sistemele tradiționale de securitate și siguranță în detecție efracție, control acces, detecție incendiu - sistemele de supraveghere funcționând în relație de colaborare cu acestea, asigurând elementul de monitorizare în timp real și posibilitatea de vizualizare post-eveniment precum și înregistrarea, afișarea și transmisia informației video către diverși beneficiari ai acesteia. Datorită progreselor tehnologice înregistrate de-a lungul timpului în industria electronicii și, în principal, în domeniul tehnologiei informației, industria TVCI și-a schimbat foarte multe din principiile de bază, trecând de la sistemul complet analogic la cel complet digital, centrat în jurul conceptului de rețea.

10.4.2. Procese în sistemele video, elemente componente

10.4.2.1 Considerații generale.

Sistemul de supraveghere video cu circuit închis este format din camere video, elemente de transmisie, sortare, afișare și prelucrare a imaginilor achiziționate de la camerele video. Aceste imagini sunt folosite doar în scopul asigurării funcțiilor specifice.

Procesele principale ce au loc într-un sistem de supraveghere video pot fi descrise ca fiind:

- procesul de achiziție a imaginii și de producere a semnalului video;
- transmisia semnalului video, folosind diverse medii de transmisie;
- procesul de înregistrare, conversie, distribuție a semnalului video;
- procesul de afișare.

Într-un sistem de supraveghere video se pot distinge, conform cu procesele menționate anterior următoarele elemente componente:

- elementul de achiziție a imaginii în obiectiv (lentila) și camera video;
- mediul de transmisie a semnalului video: cablul coaxial, perechea torsadată, fibra optică etc;
- elemente de achizitie si prelucrare. Aici gama de echipamente este extrem de largă și diversă: digital video recordere, matrici video, multiplexoare, distribuitoare;
- elemente de afișare a semnalelor video: monitoare, video wall, software.

Folosirea luminii este, practic, un element cheie în implementarea unui sistem video. Acest lucru, pe langă altele, influențează în mod direct calitatea imaginii afișate și/sau înregistrate. Lumina este o formă de energie formată din șapte componente de bază. Aceste componente formează un spectru, din care ochiul uman poate percepe doar o porțiune cuprinsă între aproximativ 400 nm și 700 nm. Această lumină este folosită pt „sensibilizarea" elementelor fotosensibile (senzorul de imagine).

Pe lângă radiația vizibilă o altă formă de radiație este folosită de camerele de tip zi/noapte pentru preluarea imaginilor în condiții slabe de iluminat. Radiația infrared se situează în afara spectrului vizibil.

Acest tip de radiație este emisă de către obiecte, oameni, animale etc. Obiectele „calde" apar evidențiate pe un fundal „rece" în condiții slabe de iluminat, de exemplu noaptea.

10.4.2.2. Camera Video

Principiul de bază de funcționare al unei camere video constă în transformarea luminii reflectate de către „scena" supravegheată în semnal electric. La baza acestui proces stă senzorul de imagine. Senzorul de imagine este un circuit integrat specializat care are rolul de a transforma „informatia" luminoasă în semnal electric. Acest semnal electric este apoi prelucrat de circuitele de procesare digitală a semnalului (DSP-Digital Signal Processor). Semnalul video rezultat la ieșirea camerei este așa numitul semnal video compozit. Până de curând, circuitele de procesare a semnalelor erau circuite analogice dar, odată cu dezvoltarea circuitelor specializate de procesare a semnalelor, majoritatea camerelor de astăzi folosesc „chip set"-uri specializate - Digital Signal Procesor - care oferă facilități și opțiuni ce permit o mai ușoară instalare, reglare și cu rezultatul final -calitatea imaginii- mult mai bună decât precedenta serie de camere analogice. Senzorul de imagine este format dintr-o „matrice" de elemente fotosensibile numite elemente de imagine sau pixeli. Pixel-ul este elementul de bază al imaginii, care transformă lumina cazuta pe el în semnal electric, intensitatea acestui semnal este direct proporțională cu cantitatea de lumină care cade pe elementul de imagine. CCD-ul este scanat de la stânga la dreapta de 50 de ori pe secundă. Intensitatea luminii ce cade pe CCD este „translatată" într-o mixtură de culori: roșu, verde și albastru din care se obțin valorile de luminanță (Y) și diferența de culoare (U, V) ce compun semnalul video complex. În specificațiile camerelor numărul de pixeli ai unui CCD este specificat ca număr de pixeli orizontală x număr de pixeli pe verticală (De exemplu: 752H x 582V).

Senzorul de imagine tip CCD (Charged Coupled Device): Tehnologia senzorilor tip CCD este una dezvoltată special pentru industria camerelor video. Principalul avantaj, comparativ cu tehnologia CMOS, constă în sensibilitatea ridicată în condiții de iluminare scăzută ceea ce înseamnă imagini de calitate mai bună pentru condiții de iluminat scăzut. Tehnologia CCD presupune un proces mai complex de producere și încorporare în camerele video.

Senzorul de imagine tip CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor): Tehnologia CMOS este una larg răspândită pentru componentele electronice. Senzorii tip CMOS pot fi produși în dimensiuni variabile, de la camere miniaturale până la camere tip megapixel.

În ultimul timp distanța între cele două tipuri de tehnică pentru condiții de iluminat a scăzut. În condiții de iluminat constant acest lucru nu este o problemă dar în condiții de iluminat scăzut imaginea rezultată este întunecată sau de calitate slabă (perturbată de „zgomot").

Formate de CCD

Standardul de imagine folosit în industria CCTV este 4:3 (H:V). Cele mai des întâlnite formate pentru senzorii de imagine CCTV sunt urmatoarele: 1", 2/3", 1/2", 1/3", 1/4". Cu cât dimensiunea CCD-ului este mai mare cu atât imaginea rezultată va avea o calitate mai bună. Totuși, din motive economice, cele mai des folosite sunt cele de 1/3" și 1/4".

Semnalul video complex (composit)

Semnalul video composit este semnalul obținut din camera video folosind circuite de procesare a semnalului (DSP-Digital Signal Processor).

Se numește semnal video composit (sau complex) deoarece este compus din informația video, un puls de sincronizare și un semnal de referință. Amplitudinea maximă a acestui semnal este de 1 V vârf-la-vârf (1V peak-to-peak) (fig. II 10.28).

Pentru standardul PAL o imagine este formată din 625 linii scanate la o frecvență de 50Hz. Există două moduri de afișare a informației video:

Modul întrețesut (2:1 Interlaced): În acest mod o imagine completă (frame) este formată din două treceri (scanări), fiecare trecere (scanare) formând un field. Prima trecere este pentru field-urile impare (313 linii) și următoarea trecere pentru field-urile pare (312). Acest mod se mai numește și 2:1 Interlaced (2 field-uri: 1 frame).

Modul progresiv scan (1:1 Non-interlaced): este modul de formare al imaginii prin scanarea progresivă de la linia 1 la linia 625 cu o frecvență de 25 frame-uri/secundă.

Interlaced scan este moștenit de la sistemele TV și este încă larg folosit astăzi. Progressive scan este folosit de noile monitoare tip LCD, TFT pentru a afișa imaginea în ordinea apariției liniilor. Pentru afișarea unui semnal Intrelaced aceste echipamente au nevoie de un circuit de de-interlaced, pentru a afișa imaginile în modul progresiv.

Caracteristici generale ale camerelor video

Rezoluția: Rezoluția este o măsură foarte importantă a calității imaginii pe care acea cameră o poate reda. Rezoluția unei camere reflectă capacitatea acelei camere de a reda detaliile unei scene. Această mărime se exprimă uzual în termeni de linii TV orizontale. În specificațiile unei camere, valoarea rezoluției se bazează pe numărul de elemente distincte, dintr-o linie orizontală, care pot fi capturate de către cameră. Acest lucru se reflectă în mod direct asupra numărului de linii verticale care pot fi distinse, pentru echivalentul de proporție 4/3 (H/V). Numărul de linii verticale, adică numarul elementelor distincte dintr-o linie orizontala, se obține din rezolutia orizontala inmulțită cu valoarea 4/3. Acest lucru se face pentru a păstra proporțiile naturale ale imaginii. Cu cât numărul de elemente individuale dintr-o linie orizontală este mai mare, cu atât în imaginea rezultată vom putea distinge mai multe detalii. De exemplu, o cameră cu rezoluția de 520 linii TV va avea într-o singură linie 520 x (4/3) elemente distincte de imagine.

O clasificare tipică a camerelor color este, din punctul de vedere al rezoluției, următoarea:

- rezoluție normală: în jur de 330-380 linii TV;
- rezoluție medie: mai mică de 480 linii TV;
- înaltă rezoluție: peste 520 linii TV.

Pentru camerele monocrome se folosește aceeași clasificare dar rezoluția este, în medie, cu 80 de linii TV mai mare. O măsurare a rezoluției camerei se poate face folosind chart-ul de test EIA. Acest parametru, rezoluție, este extrem de important în alegerea unei camere care să corespundă cu cerințele de vizualizare, identificare și recunoaștere a detaliilor necesare aplicației. De menționat că rezoluția întregului sistem este dată de cea mai mică rezoluție a mai mulți factori, printre aceștia se includ, apertura (deschiderea) irisului, calitatea obiectivului, dimensiunea și calitatea CCD-ului, amplificarea camerei, timpul de expunere, modalitate de procesare a semnalului video.

Sensibilitatea: sensibilitatea unei camere este o măsură a performanței camerei camerei în condiții slabe de iluminat (se mai întâlnește în specificații ca fiind iluminare minimă). Acest parametru este influențat de mai mulți factori, printre aceștia se includ: apertura (deschiderea) irisului, calitatea obiectivului, dimensiunea și calitatea CCD-ului, amplificarea camerei, timpul de expunere, modalitatea de procesare a semnalului video.

Sensibilitatea mai poate fi descrisă ca fiind iluminarea minimă necesară, la o deschidere dată a lentilei, pentru ca să avem la ieșirea camerei un semnal video util.

Măsura acestei valori este exprimată ca fiind „cantitatea" de lumină necesară în anumite condiții, raportată la apertura irisului (pentru o distanță focală fixă).

Raportul Semnal Zgomot (Signal Noise Raport - SNR): Este un parametru care descrie, din punct de vedere dinamic, comportamentul camerei și capacitatea ei de a compensa influența perturbatoare a „zgomotului", a semnalului parazit, care se suprapune peste semnalul util. Nicio cameră nu poate rejecta acest „zgomot", influența acestuia putând fi doar redusă. Măsura acestui parametru este dată în decibeli (dB). O cameră cu un raport semnal zgomot cât mai mare are o capacitate mai mare de a reduce „zgomotul" și de a furniza imaginii o calitate mai bună, decât o cameră cu SNR mai mic.

Compensarea Luminii din Spate (Back Light Compensation - BLC): Această funcție are un rol major în situațiile în care obiectul supravegherii se află pe un fundal luminos, ori când cea mai mare parte a luminii vine din spatele obiectului. Sistemul de expunere al camerei se setează automat pentru o medie a cantității de lumină din scenă. Dacă în scenă apare o cantitate mai mare de lumină, atunci sistemul de expunere reacționează la aceasta prin ajustarea (închiderea) irisului (sau a irisului electronic) acest

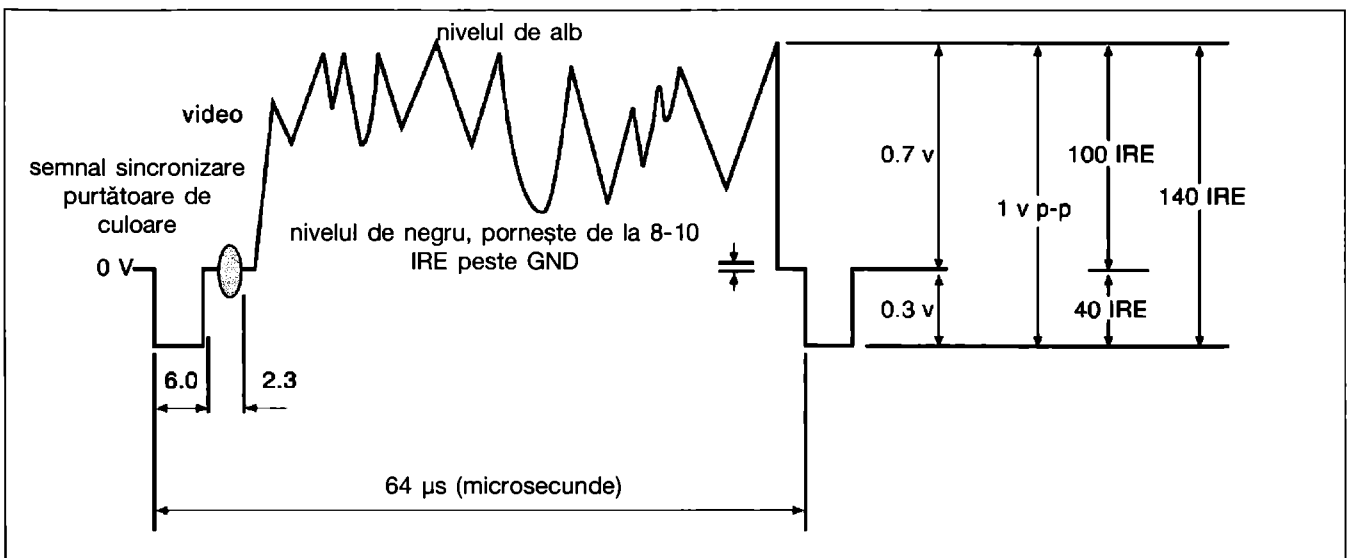


Fig. II.10.28. Schema semnal video color

lucru având ca efect o imagine mai întunecată. Pentru a compensa acest efect, prin activarea BLC-ului, camera va calcula timpul de expunere bazându-se pe nivelul de iluminare doar dintr-o parte a imaginii, uzual în centrul imaginii, care este de interes pentru vizualizare. Orice modificare a iluminatului în afara acestei ferestre este ignorată de către sistemul de expunere.

Automatic Gain Control: Circuitul care realizează această funcție are rolul de a compensa fluctuațiile de iluminat care duc la scăderea semnalului video. Dacă valoarea semnalului este adecvată circuitul nu va aplica nicio amplificare, totuși dacă semnalul video continuă să scadă (pe măsura scăderii iluminatului) atunci circuitul va aplica din ce în ce mai multă amplificare până ce semnalul video atinge valoarea de 1V p-p. Trebuie menționat că acest circuit nu poate face minuni și în scenă trebuie să existe lumină pentru a se putea produce un semnal video. Trebuie menționat că amplificarea unui semnal slab presupune și amplificarea zgomotului din acel semnal, de aceea semnalul video preluat în condiții slabe de iluminat și amplificat va produce o imagine de proastă calitate, dar acest lucru este de preferat în schimbul lipsei totale de imagine. Este recomandat ca această funcție să fie activată, dacă există lumină suficientă când scena AGC nu functioneaza. Când se reglează o camera trebuie setat AGC OFF astfel încât semnalul obținut sa nu fie influențat de amplificarea camerei, după reglaj se setează AGC ON.

Electronic Iris: În contrast cu funcția AGC această funcție compensează valorile crescute ale semnalului video prin controlul timpului de expunere în concordanță cu nivelul de iluminat. Shutter-ul este circuitul care controlează timpul de expunere a senzorului de imagine la fluxul luminos care este focalizat de lentilă. Cu cât acest timp este mai mic cu atât timpul necesar senzorului pentru a „acumula" lumina este mai mic și, în acccest fel, se evită supra expunerea la lumină. Circuitul de Electronic Iris asigură ca semnalul video de ieșire să fie la valoarea de 1 Vp-p. Irisul electronic are limitele sale, dacă prea multă lumină cade pe senzorul de imagine poate rezulta fenomenul de „smearing".

Shutter Speed: Shutter-ul are rolul de a controla timpul de expunere a senzorului la lumină. Un shutter cu viteză mare (adică cu timp redus de expunere) este recomandat pentru redarea imaginilor în care avem obiecte în mișcare rapidă. Totuși un shutter rapid înseamnă un timp de expunere mic, adică mai puțină lumină ajunge pe senzorul CCD și are ca rezultat o imagine mai întunecată. Dacă este necesar un shutter rapid atunci trebuie să ne asigurăm că avem suficientă lumină. Valoarea shutter-ului poate fi setată manual sau poate fi lăsată pe regimul automat.

OSD - On Screen Display: Este o funcție întâlnită la camerele digitale. Datorită complexității și numărului mare de funcții prezente la o astfel de cameră trebuia să existe o metodă de a putea seta acești parametri, metoda găsită presupune acționarea unor butoane de pe cameră și intrarea în meniurile de configurare care apar suprapuse pe semnalul de ieșire din cameră atunci când camera este conectată la un monitor.

Detecție de mișcare: Este o funcție ce permite detectarea mișcării în câmpul vizual al camerei prin analiza de imagine la nivelul camerei video.

Zone de mascare: Această funcție permite eliminarea unor zone din câmpul vizual al camerei, zone care nu trebuie să apară în imaginea vizual al camerei, zone care nu trebuie să apară în imaginea rezultată de la acea cameră, permițând protejarea anumitor obiecte.

10.4.2.3 Obiectivul (Lentila)

Alegerea obiectivului este una din alegerile care influențează în mod direct perfotmanța unui sistem de televiziune cu circuit închis. Acestă alegere depinde de mai mulți factori, ca de exemplu: poziția fizică a camerei, nivelul de iluminare existent, cerințe privind tipul de imagine dorit, ce anume se dorește a se monitoriza, identifica, etc.

Lentila (obiectivul) este un element optic-electronic-mecanic ce realizează funcția de preluare și focalizare a luminii pe senzorul de imagine. Punctul de pe axa lentilei unde se focalizează

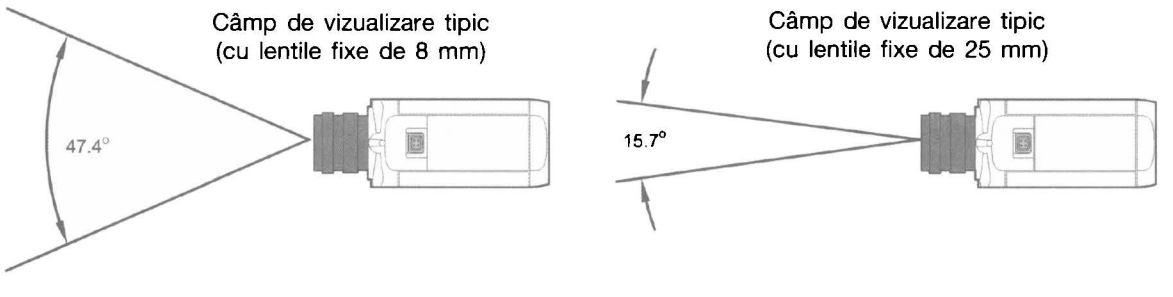


Fig. II.10.29 Câmpul de vizualizare și distanța focală

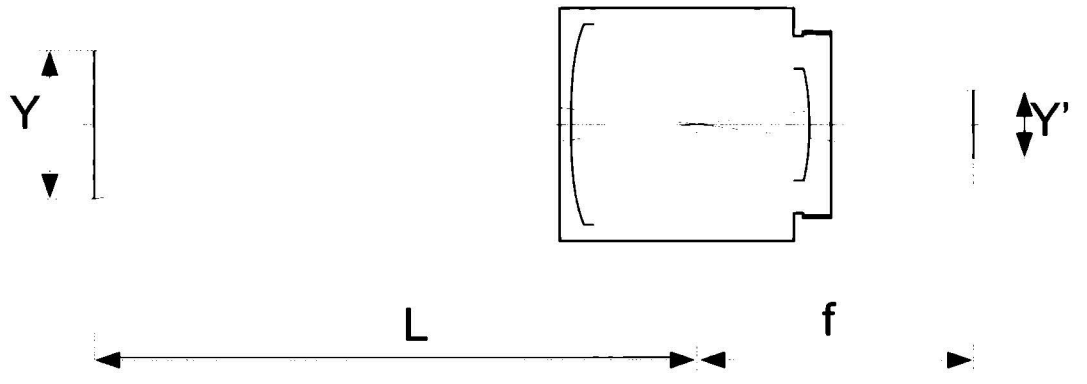


Fig.II.10.30 Relația dintre distanța focală și câmpul de vizualizare

(converg) razele luminoase se numește punct focal. Distanța de la acest punct la planul de formare a imaginii se numește distanța focală. Distanța focală determină „câmpul de vizualizare" - field of view - sau unghiul de vizualizare, la o distanță dată, adică ceea ce „vede" acea cameră. Cu cât distanța focală este mai mare cu atât câmpul de vizualizare devine mai îngust. O distanță focală mică înseamnă că acea lentilă „vede" o arie mai mare (largă) atât în plan orizontal cât și în plan vertical, din acest motiv obiectele din câmpul vizual apar depărtate și de dimensiuni mici (fig II 10.29).

În fig. II 10.30. este reprezentată schematic relația dintre distanța focală și dimensiunea în plan orizontal a scenei/ariei supravegheate.

Y = Y' x L/f

Dacă știm ce dimensiuni are obiectul pe care vrem să-l supraveghem putem deduce distanța focală necesară pentru lentilă. În mod obișnuit producătorii de lentile asigură instrumente de calcul pentru distanța focală, astfel încât să putem alege de la început tipul de lentilă necesară unei aplicații. Pentru a identifica corect detaliile unui obiect trebuie ca acesta să ocupe cel puțin 50 % din imagine.

Din punctul de vedere al distanței focale obiectivele se impart în:

- obiective cu distanță focală fixă;
- obiective cu distanță focală variabilă - varifocale;
- obiective cu zoom motorizat.

Obiectivele cu distanța focală fixă sunt folosite din considerente de economie dar, având distanța focală fixă, atunci și ciampul de vizualizare este fix, acest lucru presupune că trebuie luate în calcul încă de la început distanțele de montaj precum și mărimea obiectelor supravegheate pentru a putea alege lentila cu distanța focală corectă. Orice schimbare a cerințelor aplicației presupune, de cele mai multe ori schimbarea lentilei ori a locului de amplasare a camerei.

Obiectivele varifocale sunt mai scumpe dar au avantajul de a putea fi folosite într-o gamă extrem de largă de aplicații, mai ales atunci când nu știm de la început care sunt cerințele aplicației, în termeni de câmp de vizualizare, cerințe de identificare etc. Acest tip de lentilă permite reglarea distanței focale într-o gamă fixă, relativ mică (de ex: 3,5 - 8 mm, 5 - 50 mm etc). Fixarea distanței focale se face la instalarea camerei, în mod manual, folosind controlul Wide/Tele aflat pe lentilă.

Obiectivele cu zoom motorizat sunt un pas înainte în ceea ce privește obiectivele varifocale, oferind cea mai mare funcționalitate. Aceste obiective sunt comandate de la distanță prin modificarea distanței focale și, implicit, a câmpului de vizualizare, realizându-se focalizarea automată (autofocus) sau manuală. Astfel se permite operatorului să examineze amănunțit anumite detalii ale scenei. Prin modificarea distanței focale se modifică și adâncimea câmpului de focalizare. Uzual aceste lentile se folosesc pentru camerele de tip Pan&Tilt&Zoom, acele camere atașate la un dispozitiv electromecanic ce permite deplasarea în plan vertical și în plan orizonatal a camerei, comenzile pentru zoom fiind trimise direct obiectivului.

Pentru a descrie calitățile acestui tip de obiectiv se folosește raportul dintre distanța focală maximă și cea minimă (Zoom Ratio - raportul de zoom sau zoom optic). De exemplu pentru un obiectiv având distanța focală între 10 mm și 100 mm acest raport este de 10X, iar pentru un obiectiv care are distanța focală între 18 mm și 144 mm raportul de zoom este de 8X. De observat că un zoom optic mare nu înseamnă o distanță focală mare, în exemplul de mai sus o cameră cu obiectivul având zoom optic 8X poate sa „vadă" mult mai departe decât cea cu zoom optic de 10X.

Formatul obiectivului. Ca și pentru senzorul CCD obiectivele au formatele de: 1", 2/3", 1/2", 1/3", 1/4", aceste fiind rezultate din diametrul lentilei, raportat la dimensiunile imaginii produse. Practica uzuală este de a folosi același format atât pentru lentilă cât și pentru senzorul de imagine al camerei, dar este posibil să se folosească și obiective cu format mai mare pe camere cu senzor de imagine mai mic decât al lentilei (de exemplu se poate folosi o lentilă de 1/2" pe un senzor de 1/3"). Ca principiu, se alege o lentilă care poate furniza o imagine mai mare decât cea a senzorului camerei.

Dacă se alege o lentilă cu un format mai mic decât al senzorului atunci imaginea rezultată va avea colțurile negre, dacă se va alege o lentilă cu un format mai mare atunci nu toată energia luminoasă ajunge pe senzor, iar o parte din unghiul de vizualizare (o parte din câmpul de vizualizare) se va pierde. Formatele mari de lentilă oferă câteva avantaje comparativ cu cele mici: o mai mare adâncime a câmpului de focalizare și imagini cu mai puține efecte de distorsionare la margini.

Irisul (Diafragma)

Cantitatea de lumină care cade pe senzorul de imagine trebuie să fie între anumite limite pentru o performanță optimă a camerei. Prea multă lumină duce la fenomenul de supraexpunere sau albire, prea puțină lumină înseamnă o imagine mai întunecată și pierderea detaliilor în zonele aflate în umbră. Irisul (sau diafragma) are rolul de a controla cantitatea de lumină ce ajunge pe senzorul de imagine. Irisul constă dintr-un număr de pale metalice aranjate astfel încât produc o deschidere circulară în centrul lor. Deschiderea (apertura irisului) se poate mări sau micșora în incremente numite f-stops.

Un alt rol al irisului, în afara controlului luminii ce ajunge pe senzor, este acela de a controla adâncimea câmpului de focalizare. Practic irisul este cel mai bine definit de F-stop (Numărul F sau F.No).

Acest parametru este o măsură a „luminozității" obiectivului. Valoarea acestui număr se calculează cu formula:

F.No = f/D,

unde:

f - distanța focală a lentilei,

D - diametrul irisului.

Cu cât F.No este mai mare cu atât mai puțină lumină ajunge pe senzorul CCD. O valoare mică a numărului F.No înseamnă mai multă lumină care ajunge pe CCD.

Acest parametru este luat în calcul la măsurarea sensibilității camerei. În tabelul următor sunt date câteva valori privind procentul de lumină ce ajunge pe CCD pentru diverse valori ale numărului F.

Din punctul de vedere al irisului încorporat obiectivele pot fi:

- obiectiv cu iris fix;
- obiectiv cu iris manual;
- obiective cu iris automat (autoiris).

Obiectivul cu iris fix este un tip de iris care nu poate să se adapteze la condițiile variabile de iluminat, deschiderea acestuia rămânând constantă.

Obiectivul cu acest tip de iris este



Fig. II.10.31 Diafragma

F. No	F1.0	F1.2	F1.4	F1.7	F2.8	F4.0	F5.6
% lumina ajunsă pe CCD	20	14,14	10	7,07	2,5	1,25	0,625

recomandat doar pentru condiții de interior unde nivelul de iluminat rămâne constant.

Parte din funcțiile irisului sunt realizate de cameră prin folosirea funcțiilor Electronic Iris și Automatic Gain Control.

Obiectivul cu iris manual permite reglarea deschiderii irisului la momentul instalării, astfel încât să corespundă condițiilor de iluminat existente, totuși, la fel ca și la obiectivele cu iris fix, condițiile de iluminat trebuie să fie relativ constante pentru a avea o imagine bună. Pentru astfel de obiectiv se recomandă găsirea unei valori "medii" care să corespundă cât mai multor variații ale luminii.

Obiectivul cu autoiris este, practic, cel mai folosit și cel mai util pentru marea varietate de aplicații în care condițiile de iluminat nu sunt constante, în special pentru aplicațiile de exterior unde condițiile de iluminat se schimbă continuu. Acest tip de obiectiv, cu autoiris, este controlat în mod automat și constant de către camera pentru obținerea unui nivel de iluminare optim pe senzorul de imagine.

Controlul iris-ului se poate face prin mai multe metode. Astfel, obiectivele cu iris automat se pot clasifica în mai multe tipuri.

Video Drive Iris. Acest tip de obiectiv conține toată partea electronică de analiză a semnalului video obținut de la cameră. Un semnal video de referință se preia de la cameră iar lentila încearcă să mențină acestă valoare de tensiune la 1V p-p prin închiderea sau deschiderea diafragmei. De exemplu, dacă nivelul de iluminare începe să scadă atunci și valoarea semnalului video va scădea, în acel moment circuitul de analiză a semnalului va da o comandă către servo-motorul înglobat de deschidere a diafragmei, până când se atinge din nou valoarea optimă de 1V p-p a semnalului de referință.

Direct Drive Iris. Pe măsură ce circuitele de analiză a semnalelor TV și de comandă au fost încorporate pe scară din ce în ce mai largă direct în camerele de supraveghere video, au apărut din ce în ce mai mult obiective mai mici și mai ieftine - numite Direct Drive. Aceste obiective controlează diferit iris-ul printr-un procedeu numit - galvanic drive.

Obiectivele Direct Drive nu conțin circuite de analiza semnalului ele fiind comandate direct de către camera video prin două semnale: drive signal și damping signal. Drive signal este semnalul de control al lentilei iar damping signal este folosit pentru prevenirea situațiilor când lentila reacționează prea repede la schimbările de iluminat din câmpul vizual. Aceste semnale sunt furnizate de către camerele video care acceptă acest tip de lentile.

Adâncimea câmpului de Focalizare. Este momentul să vorbim acum despre un parametru important al lentilelor și anume adâncimea câmpului de focalizare. Uzual, o lentilă se focalizează, la o anumită distanță, pe un obiect. Acel obiect va aparea în imagine foarte clar, totuși, pe o anumită distanță în fața și în spatele lui și celelalte obiecte vor apărea foarte clar. Suma acestor două distanțe, din fața și din spatele obiectului, se numește adâncimea planului de focalizare. Împreună formează așa numitul „câmp de focalizare". Obiectele care nu sunt în acest „câmp de focalizare", pe toată adâncimea lui, vor pierde din claritate. Adâncimea câmpului de focalizare depinde de numărul F.No („luminozitatea" lentilei, care depinde invers proporțional de deschiderea irisului). Așadar, adâncimea câmpului de focalizare depinde de deschidera irisului. Pe măsură ce irisul se închide adâncimea câmpului de focalizare va crește, ceea ce înseamnă că mai multe obiecte vor intra în câmpul de focalizare - adică vor apărea mai clar în imagine. Un dezavantaj al creșterii acestei adâncimi prin închiderea irisului este că pe senzorul de imagine va ajunge mai puțină lumină, iar imaginea va fi mai întunecată. Adâncimea câmpului de focalizare este dependentă de distanța de focalizare, obiectivele „wide angle", cele care au unghiul de vizualizare mare - adică distanța focală mică - vor avea o adâncime mai mare decat cele de tip „telephoto" - adică cele cu o distanță focală mică. Obiectivele autoiris, prin natura lor putând să-și modifice deschiderea irisului, vor face ca și adâncimea câmpului de focalizare să se modifice

10.4.2.4. Tipuri de camere

Așa cum am arătat mai sus tipologia camerelor este foarte diversă, o clasificare a acestora se poate face din punctul de vedere al mobilității lor in: camere fixe și camere mobile.

Camerele fixe au diverse forme constructive. și dimensiuni care merg de la cele tip „pin hole", camere de tip minidome, camere cu obiectiv încorporat în carcasa camerei, camere la care se adaugă, separat, obiectivul etc. Pentru camerele fixe există posibilitatea de a avea montat un obiectiv cu zoom motorizat astfel încât să existe controlul asupra unghiului de vizualizare. Uzual, acest tip de camere au fost folosite pentru atașarea la echipamente de tip Pan&Tilt.

O categorie de camere mobile cu funcții deosebite o constiuie așa numitele camere de tip „dome" sau „speed dome". Aceste camere sunt folosite într-o largă gamă de aplicații în care există cerințe de supraveghere deosebite:

- arii mari de supravegheat;
- este necesară urmărirea unor obiecte/persoane aflate în mișcare;
- se cere preluarea unor imagini din momentul producerii unor evenimente;
- se cere interconectarea cu alte sisteme (control acces, efracție, building managemet, detecție incendiu);
- ușurarea muncii de supraveghere video a operatorilor,
- costuri reduse, pentru supravegherea unor suprafețe mari, unde ar fi necesar un număr mai mare de camere fixe.

O cameră de tip speed-dome este compusă dintr-o cameră video, în general de mare rezoluție, cu obiectiv auto-iris, cu zoom motorizat și autofocus, acționată de un set servo-motoare, comandate de te compusă dintr-o cameră videocompusă dintr-o cameră videon echipament de control.

Toate aceste componente se află într-o carcasă comună având, în partea inferioară, un capac de sticlă de forma unui dome (semisferă). Modalitățile de montaj sunt multiple: tavan, perete, stâlp, colțul unei clădiri, în atârnare de diverși pereți.

Aceste camere au câteva caracteristici deosebite dintre care enumerăm:

- zoom optic mare(30x, 36x),
- lentilă autofocală,
- rotație în plan orizontal de 360 grade,
- rotație în plan vertical de aprox. 180 grade,
- număr mare de prepoziții (presets) care pot fi memorate,
- posibilitatea de execuție a tururilor,
- intrări de alarmă (care pot declanșa tur-uri sau „sărirea la prepoziții),
- ieșiri de alarmă pentru activarea unor echipamente auxiliare,
- zone de mascare,
- protocoale de comunicație multiple.

În plus, există astfel de camere care au și funcția de auto-tracking, sau urmărirea unei ținte. Această funcție este utilă pentru spații care, în general, nu au obiecte în mișcare și când se dorește urmărirea oricărei mișcări în acel loc.

Camerele de tip speed-dome pot funcționa total autonom, independent de operatorii sistemului de supraveghere. Camerele pot fi programate să

execute automat tururi sau pot fi interfațate cu alte sisteme de la care să primească comenzi.

De exemplu o astfel de cameră de tip speed-dome folosită într-un sistem de pază perimetrală poate primi, în caz de alarmă pe un anumit segment, comanda de comutare la o anumită prepoziție care este memorată în cameră, acea prepoziție fiind alocată segmentului respectiv.

Comanda camerelor mobile speed dome se face de la un echipament care poate fi: DVR, matrice video, PC cu un software adecvat, tastaturi dedicate, sau alt tip de controller.

În general comunicația acestor speed-dome-uri are la bază un protocol serial de distanță mare (RS-485, RS-422). Aceste protocoale, de nivel fizic (care definesc din punct de vedere electric interfețele de comunicație), sunt protocoale diferențiale de distanță mare (1200m) ce folosesc perechea torsadată ca mediu de transmisie. Pe lângă acest mediu de transmisie, în ultimul timp un alt mediu și-a făcut apariția, este vorba de fibra optică. Sunt camere speed-dome care vin gata echipate cu interfața de fibră optică astfel încât pe același mediu - fibra optică - se transmit atât semnalul video cât și semnalul de comandă (date). Evident, în dispecerat există echipamentul de conversie a semnalului luminos folosit pentru transmisia din fibra optică în semnalul video composit necesar echipamentelor de comutare/înregistrare afișare.

De menționat că peste protocolul serial de nivel fizic fiecare cameră folosește un protocol de nivel înalt, specific producătorului respectiv sau folosind standard-ul de facto protocolul PELCO-D. Pe piață există o multitudine de camere de tip speed-dome care pot folosi mai mult de un protocol, uzual cel proprietar și PELCO-D. Pentru rezolvarea problemelor de compatibilitate dintre elementul de comandă și camera mobilă se pot folosi convertoare de protocol. Totuși este posibil ca din protocolul „sursă" să nu poată fi traduse toate comenzile în protocolul „destinație", acest lucru ducând la anumite limitări ale funcționalității camerei.

Camere Zi/Noapte (Day/Night)

O gamă aparte de camere o constituie camerele de tip Zi/Noapte. Apariția acestor camere are la bază comportamentul diferit al camerelor monocrome și al celor color în condiții slabe de iluminat (în general noaptea, dar pot fi alte condiții, de exemplu camere slab luminate etc). Camerele color, raportate la cele monocrome, aduc în plus informația de culoare, extrem de utilă pentru ochiul uman, totuși camerele monocrome sunt mult mai sensibile decât cele color în condiții slabe de iluminat, cele color având nevoie de mai multă lumină pentru a furniza un semnal util. Așa cum s-a arătat mai sus lumina este un factor foarte important în funcționarea unei camere video. Fără lumină nicio cameră nu poate furniza un semnal video util. Din spectrul de radiație, prezentat în paragraful referitor la lumină, o cameră color poate percepe mai mult decât ceea ce poate percepe ochiul uman (radiația vizibilă), intrând în gama de radiație infra-red până la aproximativ 1000 nm. Totuși, pe timp de zi, a percepe această radiație IR înseamnă a distorsiona culorile, așa cum sunt ele percepute de ochiul uman. De aceea toate camerele color sunt echipate cu un așa numit „IR-cut filter", filtru de eliminare a radiației IR. Acest filtru elimină radiația IR și permite afișarea culorilor în mod natural. Filtrul poate fi mecanic - o piesă de sticlă plasată între lentilă și senzorul de imagine - sau electronic - acesta apare ca o funcție a chip-set-ului. La scăderea luminii sub o anumită valoare într-o cameră de tip Day/Night, acest filtru este scos, astfel încât lumina IR să ajungă pe senzorul de imagine, iar camera trece în modul de funcționare monocrom.

10.4.3 Medii de transmisie a semnalului video

10.4.3.1 Cablul coaxial

Cablul coaxial este cel mai răspândit mediu de transmisie al semnalului video.

Componența acestui tip de cablu este arătată în fig. II.10.32.

Printre caracteristicile de bază se numără:

- impedanța de 75 Ohmi;
- imunitate relativ bună la perturbații de frecvență înaltă;
- varietate de tipuri;
- lățime de bandă suficientă pentru tipul de semnal video composit.

În tabelul II 10.8 sunt exemplificate diferitele tipuri de cablu coaxial folosite des în sistemele CCTV.

Opțiunea pentru cablul coaxial trebuie să aibă în vedere atât distanțele de transmisie cât și atenuările de semnal. Se pot obține distanțe mai mari folosind echipamente de amplificare a semnalului. Un sistem de televiziune cu circuit închis trebuie să folosească semnale de bandă de 5 Mhz și mai sus. În condiții reale cablul are anumite caracteristici de rezistivitate care duc la atenuări ale semnalului. Atenuarea crește cu lungimea cablului și se măsoară în decibeli (dB). De asemenea, în cablul coaxial se pot induce perturbații electromagnertice (EMI - ElectroMagnetic Interference) dacă acest tip de cablu este instalat în apropierea unor surse de înaltă tensiune sau alături de cabluri cu curenți tari. În final, perturbațiile pot avea drept rezultat o calitate proastă a semnalului. O problemă ce poate să apară pentru acest tip de cablaj este cea a împământărilor diferite pentru cameră și pentru echipamentul de preluare a semnalului video. Dacă la nivelul camerei există o împământare iar la nivelul DVR-ului (monitor, matrice etc) altă împământare așa numitul fenomen de buclă de împământare, care constă în producerea unei diferențe de tensiune între cele două împământări și apariția unui curent ce poate duce la distrugerea echipamentelor. Eliminarea acestui fenomen se face prin folosirea unei singure împământări (dacă este posibil) sau introducerea unor echipamente numite izolatoare de împământare, care separă din punct de vedere electric cele două echipamente.

10.4.3.2 Perechea torsadată (UTP - Unshielded Twisted Pair)

O opțiune din ce în ce mai folosită pentru distanțe mari (ce depășesc 300 m, dar nu numai) este aceea de a transmite semnalul video folosind perechea torsadată și echipamente intermediare de conversie. Acest tip de transmisie are câteva avantaje:

Tabelul II 10.8

Tip cablu	Lungime maximă recomandată (metri)	Atenuare (dB/100 m / 50 MHz)
RG59	250-300	2,2
RG6	500-700	1,8
RG11	800-1000	1,2

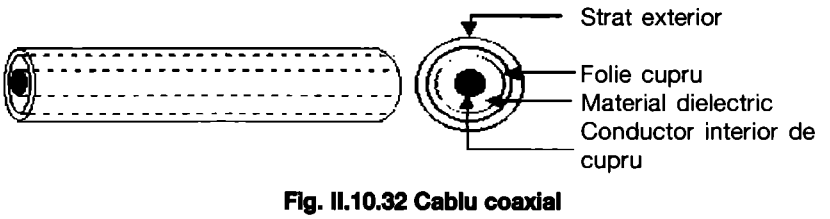


Fig. II.10.32 Cablu coaxial

- distanțe mai mari de transmisie (folosind echipamente active);
- costuri mai mici de instalare comparativ cu fibra optică;
- folosirea unor echipamente care au izolare galvanică;
- imunitate crescută la perturbații de joasă frecvență, datorate modului de transmisie.

10.4.3.3 Fibra optică

Fibra optică este un mediu de transmisie relativ nou pentru sistemele de supraveghere ce se bazează pe transmisia luminii printr-o fibră de sticlă de dimensiuni foarte mici. Acest mediu de transmisie a devenit o alternativă viabilă și extrem de eficientă la mediile bazate pe cupru folosite în diverse sisteme de telecomunicații, instrumentație și control, broadcast etc. Capacitatea fibrei optice de a transmite volume mari de informație la viteza luminii a revoluționat industria de comunicații și nu numai. În același timp, cu volumul mare de informații ce se pot transmite se diversifică și tipul de semnale transmise, acest lucru ducând la aplicații mai sofisticate.

Avantajele fibrei optice sunt:

- dimensiuni și greutate reduse;
- lățime de bandă foarte mare: peste 4 miliarde bps;
- atenuare scăzută (pentru fibra single-mode 0,3 dB/Km, multi-mode 0,35 dB/Km), acest lucru duce la acoperirea de distanțe mari fără alte echipamente intermediare de amplificare;
- imunitate la zgomot, spre deosebire de cablul de cupru ce necesită ecranare pentru atenuarea perturbațiilor electromegnetice, fibra conține un material dielectric ce nu este afectat de radiația electromagnetică sau de interferențe radio;
- transmisie securizată, fibra nu radiază nicio formă de energie care poate fi interceptată, iar breșele în fibră duc la pierderea semnalului;
- nu există scurtcircuite, este folosită în medii explozive sau industriale fără pericol de foc;
- performanțe stabile în timp și pentru diferite configurații.

Câteva din dezavantajele fibrei optice sunt:

- costul componentelor, conectorilor, cablurilor, echipamentelor de testare și de conectare;
- refacerea conexiunilor este mai dificilă, odată sistemul instalat este dificil de montat noi conectori și/sau echipamente intermediare.

10.4.4 Echipamente de achiziție, prelucrare și afișare

Sub această denumire am încadrat o mare varietate de tipuri de echipamente ce au funcții și caracteristici diverse, toate folosite pentru aplicații diverse: monitorizare, înregistrare, comutare, afișare semnale video, comandă echipamente etc.

Digital Video Recorder-ul a fost evoluția firească a sistemelor de înregistrare video când s-a trecut de la VCR (Time Lapse Recorder) care folosea banda magnetică pentru înregistrare, la soluția de înregistrare pe Hard Disk. Principalele roluri ale unui DVR sunt:

- înregistrarea semnalelor video furnizate de către camere, pe hard disk-urile interne;
- redarea (playback-ul) acestor înregistrări;
- arhivarea informației digitale pe diverse suporturi (DAT, matrice de hard disk-uri RAID, LAN, USB, CD, DVD-RW);
- afișarea semnalelor video în timp real pe monitoarele atașate;
- comunicația cu un software client pentru furnizarea de informații video și/sau setări.

Toate aceste funcții se pot executa simultan (de unde și denumirea de DVR pentaplex).

Înregistratoarele video digitale se împart în două mari clase: înregistratoare de tip „stand-alone" și cel de tip „PC-based".

Înregistratoarele de tip stand-alone sunt echipamente dedicate. Ele au doar rolurile specificate anterior și nu pot fi folosite în alte scopuri. Acest tip de echipament este bazat pe o structură hardware dedicată ce conține o placă de bază în care sunt înglobate funcțiile de conversie analog digitală, compresie, stocare, interfață cu utilizatorul. În fapt, este o strucutră de calcul dedicată, bazată pe un procesor de tip industrial, pe această structură este instalat un sistem de operare (kernel) tip Linux Embedded, având doar funcțiile strict necesare funcționării acestui echipament. Modul de operare al acestui tip de echipament este bazat pe o interfață de operare prin butoane sau telecomandă, dar se poate opera și prin intermediul unui software client de gestiune.

Înregistratoarele PC-based, așa cum le spune și numele, sunt echipamente de calcul de larg consum (PC-uri, eventual cu specificații mai bune), care au în dotare un număr de plăci de achiziție a semnalelor video și un software dedicat care permite integrarea acestor plăci pe structura de PC și operarea siistemului cu un înregistrator video. Sistemul de operare al acestor DVR-uri este unul de tip Windows.

Majoritatea funcțiilor înregistratoarelor video sunt comune ambelor tipuri de sisteme.

Înregistrarea este principalul rol al acestor echipamente. Semnalul video preluat de către sistemul (placa) de achiziție video este transferat la circuitele de conversie analog-digitală, unde au loc procesele de eșantionare și cuantizare. Apoi semnalul digital intră în circuitul de compresie. Acest circuit, și funcțiile implementate în el, joacă un rol important în performanța globală a sistemului. Deoarece semnalul digital obținut în urma digitizării nu poate fi folosit ca atare (din cauza dimensiunilor foarte mari ale imaginii rezultate) acest semnal digital trebuie compresat pentru a putea fi stocat pe hard-disk. Procesele de compresie video care au loc în circuitele specializate (compresor) vor fi descrise în capitolul referitor la compresia video în sistemele digitale IP. Pe scurt, semnalului video digital de intrare i se aplică un procedeu de compresie video în urma căruia are loc o scădere considerabilă a dimensiunilor imaginii rezultate. Imaginea rezultată va putea fi apoi trimisă la sistemul de stocare (HDD). Orice înregistrator folosește o tehnică de compresie conform unui standard. De exmplu: JPEG, MPEG, Wavelet, MPEG4, MPEG2, H.264 etc. Fiecare din aceste standarde este particularizat de producătorul echipamentului respectiv. Acest lucru însemnând că nu este posibil să „citești" informația de pe un DVR cu un software de la alt producător. În general producătorii își parametrizează și protejează propriul format, tocmai pentru a adăuga elemente de securitate, nefiind posibil să modifici înregistrările, care pot fi folosite ca probe. Stocarea informației video se face pe hard-disk-uri în format proprietar, aceasta putând fi apoi exportată sau arhivată în alte formate proprietare sau standard (AVI de exemplu). Problema stocării este una deosebit de importantă.

Astăzi toate înregistratoarele video digitale au facilități ce au devenit standard de-facto pentru orice sistem de supraveghere video:

- înregistrare bazată pe evenimente (intrări de alarmă, detecție de mișcare) programată, continuă;
- selectare individuală a ratei de înregistrare și a calității imaginii pe fiecare canal;
- căutare inteligentă bazată pe tip eveniment, data&ora, detecție de mișcare într-o anumită regiune a imaginii (ROI);
- interfațare cu tastaturi/controllere de comandă a camerelor mobile;
- conectivitate în rețea LAN/WAN, RS-

232, RS-485;
- porturi USB, unități de arhivare CD/DVD-RW, interfața SCSI pentru matrici RAID;
- posibilitate de setare software sau prin telecomandă (pentru cele stand-alone).

Matricea video

Este un echipament care are drept principal rol controlul unui număr mare de camere existent într-o aplicație. Există aplicații în care numărul mare de camere (uzual peste 100), face ca procesul de monitorizare a acestora să fie destul de dificil. Partea umană a acestui proces, operatorul de supraveghere video, poate fi copleșit de numărul mare de informații video, astfel încât atenția lui scade dramatic. Matricea video permite controlul unui număr mare de camere video, preluarea acestor semnale video pe intrări, și afișarea lor e un număr relativ mic de ieșiri de monitor. Afișarea pe ieșirile de monitor se poate face în mod automat sau manual.

Pentru modul automat se programează așa numitele secvențe, care sunt constituite din perechi „cameră, monitor, timp de afișare". O astfel de secvență de perechi poate fi „rulată" în mod manual, dacă operatorul comandă acest lucru sau se poate activa automat atunci când se produce un eveniment în sistem. Uzual operatorul poate să selecteze pe orice monitor (ieșire din matrice) orice cameră video (intrare în matrice). Matricea se operează prin intermediul unor tastaturi, pentru sistemele mari (număr mare de camere) fiecare operator are propria tastatură și set de monitoare pe care urmărește aria alocată. Matricea video poate să aibă și module de intrări de alarmă pentru a putea primi informații de la alte sisteme și să decidă, automat, acțiunile ce se execută la un anumit eveniment. Un exemplu ar fi următorul: operatorul urmărește pe monitoarele sale un grup de camere din zona publică a unui Mall, dacă o ușă de urgență de pe un hol tehnic se deschide, atunci în matrice se va activa o intrare de alarmă (contactul magnetic de pe ușa de urgență), iar pe monitoarele de alarmă vor fi afișate camerele de pe holul tehnic și camera de exterior care supraveghează ușa de urgență. La fel ca și DVR-urile și matricile video pot fi integrate în sisteme complexe, comanda către matrice putând fi dată pe baza unor evenimente din alte sisteme (control acces, efracție, building management etc).

Monitoare video

Odată cu procesul de digitizare a sistemelor și monitoarele au cunoscut o evoluție, de la cele analogice CRT (Catode Ray Tube) la cele de tip TFT, LCD, plasmă. Un tip aparte de sistem de afișaj este cel numit Video Wall, destinat dispeceratelor de dimensiuni mari, unde există multă informație de afișat.

Amplificatoare Convertoare video

Amplificatoarele video sunt folosite pentru îmbunătățirea calității semnalului atunci când avem pierderi de semnal sau se dorește atingerea unei distanțe mai mari de transmisie. În ceea ce privește convertoarele video acestea sunt folosite în principal când se dorește transmisia semnalului video pe diferite medii de transmisie, de exemplu Coaxial-UTP, coaxial-fibră optică etc. Convertoarele video coaxial-UTP sunt folosite la transmiterea semnalului video pe perechea torsadată. Aceste convertoare se împart în:
- active, care necesită alimentare separată;
- pasive, care nu au nevoie de alimentare separată.

10.4.5 Sisteme video IP - NETWORK VIDEO

10.4.5.1. Introducere

Sistemele video digitale aduc o flexibilitate mărită în stocarea, transferul, monitorizarea și analiză a conținutului video comparativ cu sistemele clasice analogice. Din ce în ce mai mult aceste sisteme sunt folosite pentru fucțiile suplimentare asociate cu transmisia de informație sub forma de date și nu sub forma de semnal video analogic. Dar beneficiile nu se opresc aici. Bazându-se pe tehnologii recunoscute și testate de-a lungul anulor de către industria IT sistemele video IP au profitat de aceste avantaje pentru a ajunge la o diversitate de facilități care impun alegerea lor pentru alegerea lor pentru aplicații de tip "high security" sau aplicații integrate de securitate. Gama de aplicații a sistemelor video IP este una foarte diversă.

10.4.5.2 Tehnologii de rețea

Pentru început să clarificăm câțiva termeni des utilizați în sistemele IT, termeni care sunt folosiți și în sistemele video IP. Întreg conceptul de video IP se bazează pe structura de rețea și pe suita de protocoale TCP/IP. Tipul de rețea cel mai des utilizat este cel cu comutare de pachete. Între „nodurile" rețelei (server, routere, switch, NAT, calculatoare) se schimbă pachete de date IP. Aceste pachete conțin toată informația necesară pentru a ajunge în siguranță de la sursa de destinație. Rețeaua poate fi de mai multe tipuri: rețele locale, rețele metropolitane, rețele larg distribuite etc.

LAN (Local Area Network) - este cel mai răspândit mod de interconectare a calculatoarelor, în principiu sunt rețele distribuite pe arii mici - o clădire, campus - care folosesc resurse comune gen servere de fișiere, imprimante, web server-e, ftp server-e etc. și servesc scopurile unei organizații bine definite. La rândul lor LAN-urile se interconectează prin intermediul unor medii de transmisie și echipamente diferite. În final, pentru a comunica, toate aceste echipamente foloses același „limbaj" comun, care, în cazul rețelelor, este suita de protocoale TCP/IP. Practic, aceste protocoale permit ca echipamente produse de diverși fabricanți să poată fi integrate ca resurse hibride ce permit realizarea unor funcții general valabile. Pentru a putea funcționa împreună toate aceste echipamente trebuie să se conformeze anumitor standarde. Tocmai aceste standarde, și respectarea lor, face ca echipamente diverse să fie „transparente" utilizatorului final.

10.4.5.3 Procese și termeni în sisteme video IP

Procese într-un sistem video IP. Într-un sistem video IP avem următoarele procese:
- codare-digitare și compresie;
- comunicație (transmisie, recepție);
- decodare;
- înregistrare/arhivare;
- afișare;
- analiza conținutului video.

Se observă că, spre deosebire de sistemele analogice, unde procesul de codare (digitizare și compresie) are loc la nivelul DVR-ului, într-un sistem video IP aecst proces are loc la nivelul camerei, înainte de transmiterea, ca pachete de date, către echipamentul de înregistrare și/sau afișare. În acest fel s-a realizat distribuția proceselor către elementele de bază și s-a eliminat necesitatea de procesare centralizată a informației. Pe de altă parte, se observă că procesul de transmisie nu este unidirecțional, ca la camerele video, ci bidirecțional, camera video/encoder-ul putând fi accesate de către software-ul de gestiune.

Termeni folosiți în sistemele video IP

Frame. Un frame este o imagine video completă. Un frame este compus din 2 field-uri separate, întrețesute la o frecvență de 50 Hz, astfel încât formează un frame complet la 25 Hz. Acest termen este larg folosit pentru exprimarea diverselor caracteristici ale echipamentelor: rata de înregistrare, rata de achiziție, rata de prelucrare, în general este folosit pentru a descrie

frecvența de update/transmisie/stocare a unei secvențe de imagini.

Rezoluție. Dacă în sistemele analogice vorbeam de rezoluție în termeni de linii TV, pentru sistemele digitale rezoluția este exprimată în pixeli. În urma procesului de digitizare se ajunge ca imaginea rezultată să aibă anumite dimensiuni ca de exemplu:

	PAL	NTSC
DI	720X576	720X480
4CIF	704X576	704X480
2CIF	704X288	704X240
CIF	352X288	352X240
QCIF	176X144	176X/120

Un alt tip de rezoluție, folosită în general pentru monitoare este cea tip VGA: 640X480 și submultiplul ei QVGA (SIF) 320X240. Pentru camerele MegaPixel, rezoluția se măsoară în număr de pixeli respectivi. Există camere cu rezoluții de: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 16 MegaPixeli. Pentru fiecare tip de aplicație trebuie găsită rezoluția potrivită, care să răspundă cerințelor de calitate a imaginii și de lățime de bandă.

Bitrate (Rata de transfer)

Numărul de biți transferați sau procesați în unitatea de timp. În aplicațiile multimedia bitrate este numărul de biți/unitatea de timp folosiți pentru a reprezenta/stoca o secvență video sau audio. Acest parametru este foarte important în momentul proiectării unei rețele. Suma tuturor bitrate-uri aferente echipamentelor de pe acel segment de rețea nu trebuie să depășească lățimea de bandă a acelui segment de rețea.

Bandwidth (Lățimea de bandă)

Este unul dintre cei mai importanți parametri care sunt folosiți în descrierea performanțelor unui sistem. Acest parametru descrie capacitatea de transmisie a canalului de comunicație, sau mai exact, numărul de biți care pot fi transferați în unitatea de timp pe acel canal. Acest parametru descrie de fapt limitarea la care este supus un sistem, din punctul de vedere al transmisiei de date. Practic, a proiecta un sistem video IP în mod eficient, revine la a calcula lățimea de bandă necesară pentru transferul de date, deoarece aceasta este resursa limitativă, cea care induce costuri mărite pentru asigurarea calității imaginii transmise.

Latența.

În cazul sistemelor de transmisie video digitale este timpul total necesar pentru encodare, transmisie și decodare. În general, pentru transmisii de date, este timpul de răspuns la o cerere adresată unui sistem. Acest parametru are importanță mai ales pentru aplicațiile care presupun transmisia realtime, unde nu se accepă întârzieri mari.

10.4.5.4 Standarde de compresie

Când semnalul video analog este digitizat, în concordanță cu standardul ITU-R BT.601 (CCIR 601), este necesară o rată de transfer de 116Mbit/s. Această valoare nefiind practic de folosit în rețelele de date, acestui stream video i se aplică diverse tehnici de compresie, astfel încât, în urma acestui proces să rezulte o valoare a ratei de transfer care să poată fi folosită în mod rezonabil pentru transmisia și stocarea datelor.

Aceste tehnici de compresie pot fi împărțite în două clase:

- compresia de imagine;
- compresia video.

Compresia de imagine sau cea video poate fi facută în două moduri: cu pierdere de informație sau fără pierdere de informație. În compresia fără pierderi, după decompresie se obține o imagine identică cu cea inițială, prețul plătit constă în rata de compresie foarte mică, adică compresia este destul de mică. Acest lucru înseamnă valori mari de transmis și stocat. Un format cunoscut de compresie fără pierderi este GIF. Compresia cu pierderi funcționează pe principiul eliminării din imagine a elementelor invizibile ochiului uman. Prin această metodă se crește rata de compresie foarte mult, astfel încât se obțin informații ce pot fi transferate și stocate în condiții optime.

Un parametru important folosit în toate tehnicile de compresie este rata de compresie.

Rata de compresie este definită ca fiind:

Raportul dintre dimensiunea imaginii înainte de compresie și dimensiunea imaginii după compresie. Cu cât rata de compresie este mai mare cu atât imaginea este mai comprimată (dimensiuni mici) dar și calitatea este mai scăzută. În cazul transmisiei, o rată de compresie mai mare înseamnă o lățime de bandă mai redusă, dacă se păstrează aceeași rată de transfer, sau, dacă lățimea de bandă se păstrează se poate crește rata de transfer.

Compresia de imagine

Această tehnică de compresie se aplică unei singure imagini la un moment dat. Principiul de funcționare constă în utilizarea de similarități în reprezentarea imaginii - pixeli apropiați, de nuanțe diferite ale aceleeași culori, sunt „comasați" la o valoare medie comună. Această valoare este folosită la decompresie unde imaginea rezultat avea pixeli de aceeași nuanță. Cea mai folosită metodă este metoda JPEG dar mai există și alte tehnici (JPEG2000, Wavelet).

Compresia video

Compresia video se aplică unei secvențe de imagini și nu doar unei singure imagini.

Cele mai utilizate tehnici de compresie de imagini sunt: MJPEG, MPEG, H.264s

Compresia Motion JPEG - MJPEG

Această tehnică de compresie se aplică pentru secvențe video ca succesiuni de imagini independente compresate JPEG. Fiecare imagine este compresată independent de celelalte. Are avantajul că fiecare imagine din secvență are aceeași calitate a imaginii.

Practic această tehnică este o tehnică de compresie de imagini aplicat succesiv unui șir de imagini.

O altă abordare o constituie tehnica MPEG. Spre deosebire de compresia de imagine care face uz de similarități în imagine, compresia video MPEG face uz de similarități în succesiunea de imagini.

Compresia MPEG

Principiul de bază al acestei tehnici de compresie este de a compara două imagini succesive ce urmează a fi transmise/înregistrate și, folosind prima imagine ca imagine de referință (I-frame), se transmit din a doua imagine doar diferențele față de imaginea de referință (B-frame sau P-frame). La destinație, pentru vizualizare, se vor reface imaginile bazându-se pe „imaginea de referință" și pe diferențele din cadrele B sau P. Există și alte funcții mai complexe gen predicția mișcării într-o scenă sau identificarea unor obiecte.

Cu costul unui algoritm mai complex se transmit mai puține date decât în tehnica M-JPEG.

Standarde MPEG

MPEG-4

Apărut în 2000. MPEG-4 este un standard care aduce o dezvoltare majoră față de MPEG-2. Nu are o destinație clară precum MPEG-1 sau MPEG-2, poate fi folosit pentru transmisii video de la aplicații pentru telefoane celulare, aplicații de securitate video, monitorizări video, până la aplicații de studio unde nu sunt limitări de spațiu și lățime de bandă. În acest set de standarde se introduc termeni noi precum:

- Profile, nivele, short header si long header, constant bit-rate (CBR) și variable bit-rate datorită faptului că necesită putere mare de procesare și deci o latență mai mare. Majoritatea instrumentelor folosite în MPEG-4 pentru transmisia în timp-real sunt aceleași ca pentru MPEG-1 și MPEG-2.

Constant Bit Rate si Variable Bit Rate CBR si VBR

Într-un sistem MPEG este posibil de ales între constant bit-rate sau variable bit-rate.

Alegerea depinde de tipul de aplica-

ție și de rețeaua de transmisie. Dacă se alege CBR - se garantează un anumit bit-rate dar calitatea imaginii nu este constantă. Calitatea imaginii este relativ mare dacă nu este mișcare în cadru și scade odată cu creșterea mișcării în cadru. Această setare este recomandabilă când există o lățime de bandă mică disponibilă. Dacă se alege VBR - se va păstra aceeași calitate a imaginii indiferent dacă este sau nu mișcare în cadru, prețul este creșterea bit-rate-ului și, deci, a necesarului de lățime de bandă. Acest mod este necesar în aplicații de supraveghere unde se dorește o identificare chiar în condițiile unei mari mișcări în cadru.

H.264 (MPEG-4 Part 10 - Advanced Video Coding)

Această metodă de compresie este o dezvoltare a standardului MPEG, prin adăugarea de funcții și tool-uri noi și mai sofisticate care duc, în final, la o compresie mai bună, în condiții de păstrare a calității imaginii. Aceste tool-uri sunt implementate folosind noțiunea de profil. În același profil sunt implementate funcții specifice unui tip de aplicație.

Există 4 tipuri de profile:

- profilul de bază - pentru aplicații cu latență mică gen videoconferință sau aplicații pentru telefonia mobilă.
- profilul extins – pentru aplicații gen video streaming mobil
- profilul principal – pentru aplicații tip supravehgere video șl video streaming mobil
- profilul „high" – pentru aplicații tip televiziune de înaltă definiție

Acest tip de codare este relativ nou apărut pe piața sistemelor de supraveghere, dar are deja mulți producători care-l implementează în produsele lor.

Nicio tehnică de compresie nu răspunde la toate cerințele unui sistem video digital.

Cea mai potrivită tehnică de compresie se poate alege doar printr-un compromis între cerințele pentru: frame rate, calitatea imaginii, latență, robustețe și lățime de bandă consumată.

10.4.5.5 Elemente componente

Camera IP

Procesele dintr-o cameră IP sunt similare celor dintr-o cameră analogică dar spre deosebire de o cameră analogică, într-o cameră IP are loc procesul de compresie și transmitere a pachetelor IP. O cameră IP are în dotare un procesor, memorie, placa de rețea Ethernet, interfețe diverse: USB, IEEE1394, intrări de alarmă, ieșiri de alarmă etc. În același timp, din punct de vedere software, camera IP, este controlată de un „sistem de operare" tip real-time în care rulează aplicații de tipul:

- web server - permite furnizarea de informații, în mod securizat oricărui client care folosește protocolul HTTPS;
- ftp server - camera poate realiza transfer de fișiere către diverse destinații;
- client de email - camera poate transmite email-uri în condițiile producerii unor alarme sau a altor evenimente;
- alarm management software - gestionează activitățile de monitorizare și supervizare a detecției de mișcare, intrări de alarmă, etc.;
- modul de compresie - se ocupă de partea de compresie și de video streaming.

Practic, pe lângă funcțiile clasice ale camerei analogice o cameră IP este de fapt un calculator. Acest lucru permite camerei să comunice în mod bidirecțional cu diverse echipamente și software de mangement video.

Multe camere IP sunt dotate cu ceea ce se numeste „intelligence on board". Această funcție descrie capacitățile acelei camere de a procccesa/analiza informația video și să ia decizii conform cu setările programate. Dacă procesul de analiză și decizie este adus chiar în cameră acest lucru are influențe asupra puterii de procesare înglobate în camera respectivă, dar și asupra software-ului de management video, care nu va mai fi „încărcat" cu sarcina de a procesa în mod centralizat evenimentele din sistem. Practic acesta este încă un pas în vederea distribuirii funcțiilor în sistemele de supraveghere video.

Camerele IP pot fi clasificate astfel:

- camere IP fixe;
- camere IP fixe de tip dome;
- camere de rețea mobile tip PTZ;
- camere de rețea mobile top speed dome;
- camere PTZ -non mecanice - „mișcarea" are loc la nivelul electronicii camerei.

Aceste tipuri de camere pot funcționa în regim de camere: de interior, de exterior, day/nigth, anti-vandal etc.

Encoder - video server.

Acest echipament are rolul de a prelua un semnal analogic de la o cameră (sau mai multe) și să „digitizeze" acest semnal în vederea înglobării într-un sistem IP. Practic este un echipament care permite o tranziție de la un sistem analogic la unul digital în condițiile păstrării camereleor analogice.

Din punct de vedere funcțional un encoder are aceleași funcții cu cele ale camerelor IP (exceptând partea de achiziție video). Pe lângă acestea se adaugă și funcții de:

- comunicație serială cu camere mobile folosind porturi dedicate RS-232/RS-485;
- interfațare cu elemente de înregistrare: hard-disk-uri USB, memory card-uri,
- canale audio;
- intrări/ieșiri digitale.

Gama de astfel de echipamente este diversă, fiecare producător adaugând funcții specifice. De menționat că anumiți producători permit funcționarea acestor echipamente în regim „open standard". Acest lucru însemnând că echipamentele pot fi integrate în sisteme ale altor producători, pe baza unor standarde.

10.4.5.6 Considerații de sistem Video IP

A proiecta un sistem video IP impune considerarea unor factori ce trebuie luați în calcul la stabilirea unor soluții performante.

Lățimea de bandă, este parametrul care influentează orice transmisie de date. Acest parametru depinde de:

- rezoluția imaginii;
- rata de compresie;
- complexitatea scenei;
- frame rate; controlul frame rate-ului este o măsură de optimizare a utilizării lățimii de bandă. Se pot transmite stream-uri cu rezoluție și număr de frame/secundă diferite la destinații diferite, ținându-se cont de lățimea de bandă disponibilă pentru fiecare destinație.

Pentru managementul lățimii de bandă se pot folosi:

- switch-uri cu management de lățime de bandă;
- rețele tip Gigabit;
- frame rate variabil dependent de eveniment (event driven).

Capacitatea de stocare, acest factor este dependent de:

- numărul de camere din sistem;
- timpul de înregistrare pentru fiecare cameră;
- cât timp trebuie să stocăm înregistrările;
- ce fel de înregistrare se dorește: continuu, la eveniment;
- este necesară redundanța.

Înregistrarea informației video se poate face în:

- DAS- Direct Attached Server - hard-disk-uri instalate în același sistem pe care rulează software-ul de management al sistemului video. Este o soluție acceptabilă pentru sisteme mici și medii.
- Network Video Recorder - este un echipament de calcul - în general o structură de tip server - pe care rulează software-ul de înregistrare video. Acest echipament este folosit pentru sisteme medii-mari în care, eventual există mai multe centre de înregistrare (NVR-uri) șl de monitorizare șl afișare a informațiilor.
- NAS//SAN – tipuri de medii de stocare specifice industriei IT dar care

răspund foarte bine cerințelor sistemelor video IP, în general mari consumatoare de resurse de stocare.

Redundanța sistemelor de înregistrare, este o metodă de protejare a înregistrărilor video în cazul pierderii unor medii de înregistrare. Cea mai obișnuită metodă de a asigura redundanța este metoda RAID (Redundant Array of Independent Disks).

Pe lângă aceasta se mai pot folosi: Replicarea Datelor între servere, Tape Backup și Server Clustering.

Securitatea datelor: în momentul transmiterii datelor sub forma pachetelor IP este posibil să se folosească sisteme de criptare, de asemenea se folosesc metode de autentificare a conexiunii pentru accesul la cameră (imagini live, setări etc.) prin emiterea de certificate de autentificare. Prin watermarking fiecare cameră își „semnează" video stream-ul astfel încât orice modificare a imaginilor să poată fi detectată.

Scalabilitatea sistemelor IP: Spre deosebire de sistemele analogice cu înregistrare pe digitală (DVR) unde problema scalabilității se pune în termeni de număr de intrări video disponibile pe DVR, în sistemele IP această problemă se pune în privința numărului de imagini pe secundă preluate/înregistrate de la o cameră și în privința specificațiilor sistemului de înregistrare.

10.4.5.7 Sisteme video inteligente (Intelligent Video)

Sistemele video inteligente fac posibile diverse funcții care, în mod tradițional, sunt executate cu alte tipuri de sisteme. Așa cum am arătat mai sunt funcțiile de analiză și decizie pot fi introduse la nivelul camerei dar ele pot fi prezente și la nivelul centralizat al aplicației de gestiune video.

Printre funcțiile din categoria „inteligent video" se pot enumera:

- recunoașterea numerelor de înmatriculare;
- numărare persoane;
- alarmare la pătrundere în permiteru;
- încălcarea benzilor de circulație;
- mutarea obiectelor dintr-un perimetru;
- staționarea în perimetru;
- detecția de mișcare.

10.4.5.8 Proiectarea sistemelor video IP

Când se proiectează un sistem video digital trebuie să răspundem la câteva întrebări:

1. Ce frame rate este necesar?
2. Este acest frame-rate necesar tot timpul?
3. Este necesar monitorizare/înregistrare tot timpul sau doar la mișcare/eveniment?
4. Pe ce durată trebuie stocate imaginile/video?
5. Ce rezoluție este cerută?
6. Ce calitate a imaginii este cerută?
7. Ce nivel de latență este cerut?
8. Cât de robust trebuie să fie sistemul?
9. Care este lățimea de bandă disponibilă?

Toate aceste întrebări trebuie să ducă la găsirea unor soluții optime din punct de vedere tehnic.

Prima etapă constă în definirea condițiilor de instalare:

- scena: ce tip de scenă va fi monitorizată? Se va decide sensibilitatea și tipul de lentilă;
- condițiile de iluminat: condiții de interior sau de exterior. Se va decide dacă alegem camere de tip day/night, cu lentile cu iris fix sau autoiris;
- distanța față de obiectul supravegheat: se decide tipul camerei și al lentilei (wide format, tele, normal).
- unghiul de vizualizare: se decide cât din scenă va fi supravegheat, dacă se folosesc camere fixe sau mobile;
- este sau nu mult trafic (mișcare) în scenă?

Urmatoare etapă constă în stabilirea specificațiilor pentru aplicație:

- aplicația poate să monitorizeze, înregistreze, transfere (export, arhivă, backup) către alte medii
- pentru vizualizare se stabilesc locatiil
- pentru vizualizare se stabilesc locațiile și permisiunile de acces, pentru clienți;
- se calculează cerințele privind înregistrarea: capcitatea NVR-ului, metoda de arhivare, frame rate/cameră, calitatea imaginii pentru diverse tipuri de înregistrări (continuu, programată, la eveniment), se stabilește dacă este necesar înregistrare redundantă;
- se calculează necesarul de lățime de bandă. În funcție de acești parametri se pot calcula cerințele privind capacitatea rețelei și eventualele probleme (gâtuire, lipsa unor echipamente, necesitatea măririi lățimii de bandă, mărirea performanțelor sistemului de gestiune etc.)

II. Instalații electrice

Capitolul 11

Posturi de transformare și surse de rezervă

11.1. Instalații pentru posturile de transformare

Alegerea numărului și locului de amplasare a posturilor de transformare se face după principiul apropierii de consumator și al utilizării transformatoarelor cu o putere nominală corespunzătoare, ținând seama și de configurația rețelelor primare și secundare. Se urmărește, în general, următoarea succesiune:

- pe planul general al obiectivului se trec sarcinile diferitelor secții (în cazul întreprinderilor) sau clădiri (în cazul obiectivelor civile sau social-culturale);
- se determină sarcinile concentrate și centrele de greutate ale grupelor de sarcini distribuite;
- se marchează pe plan locurile de amplasare a posturilor de transformare și se distribuie între ele sarcinile.

La alegerea numărului, tipului și puterii posturilor de transformare, precum și la alegerea transformatoarelor, trebuie să se țină seama de următoarele considerente:

- numărul și amplasarea posturilor de transformare trebuie alese ținând seama de situația energetică în zona respectivă, de perspectivele de dezvoltare economică a acesteia și de condițiile ce se pun în legătură cu asigurarea rezervei în alimentarea cu energie electrică;
- numărul de tipuri de transformatoare trebuie să fie cât mai mic, din punctul de vedere al puterii nominale;
- la dimensionarea transformatoarelor trebuie să se țină seama de regimul lor de lucru și de capacitatea lor de supraîncărcare, în funcție de acest regim;
- pentru reducerea curenților de scurtcircuit și simplificarea protecției prin relee, se recomandă funcționarea separată a transformatoarelor;
- de regulă, este indicat ca atât alimentarea receptoarelor de forță, cât și a celor de iluminat, să se facă din aceleași transformatoare. În acest caz se va creea posibilitatea ca în perioadele în care întreprinderea sau secția nu lucrează, transformatoarele să poată fi deconectate; pentru aceasta este necesar ca alimentarea receptoarelor vitale de siguranță (pompe de incendiu, iluminat de siguranță, lifturi de intervenție etc) să fie alimentate de un transformator separat de putere corespunzătoare care rămâne în funcțiune;
- pentru asigurarea alimentării consumatorilor importanți, în caz de avarie a rețelei, se admite deconectarea automată a receptoarelor mai puțin importante.

11.1.1. Alegerea numărului de transformatoare

Cazul cel mai frecvent este acela al posturilor de transformare cu două unități independente, dar pentru consumatorii de mai mică importanță trebuie analizată și posibilitatea instalării unui singur transformator.

Numărul de transformatoare din posturi se va alege ținând seama de mărimea și configurația sarcinilor respective. Întrucât, de cele mai multe ori, rețeaua de distribuție a sistemului energetic național se poate asimila ca o singură sursă de alimentare (datorită distanțelor mari dintre două posturi de transformare apropiate), pentru cazul defectării acesteia, consumatorii importanți vor fi prevăzuți cu alimentare de rezervă asigurată de surse proprii (grup electrogen, baterie de acumulatoare etc) conform celor prezentate în cap. 11.2.

Folosirea a două transformatoare în posturi poate fi indicată în următoarele cazuri:

- când se cere un grad ridicat de siguranță (în cazul defectării unui transformator, alimentarea consumatorilor sau receptoarelor este asigurată de transformatorul rămas în funcțiune);
- când graficul anual sau zilnic al sarcinii este neuniform;
- în cazul în care puterea postului de transformare cu o singură unitate va trebui să fie mărită în viitor;
- dacă puterea transformatorului este limitată la condițiile de transport sau de dimensiunile spațiului în care se montează.

Prescripția PE 132 specifică limitarea puterii maxime instalată în posturile de la consumator alimentate din rețeaua publică de medie tensiune la 2x1600 kVA.

Folosirea a mai mult de două transformatoare se admite în anumite cazuri, cum ar fi:

- în cazul unor sarcini concentrate de mare putere;
- pentru separarea alimentării receptoarelor de forță de instalația de iluminat;
- din considerente legate de dimensiunile spațiilor în care se montează.

11.1.2. Alegerea puterii transformatoarelor

Alegerea puterii transformatoarelor este dictată de următoarele aspecte:

- când într-un post există mai multe transformatoare, la avaria unuia dintre ele, cel(e) rămas(e) în funcțiune trebuie să permită alimentarea cu energie a consumatorilor (receptoarelor) conectați eventual cu deconectarea unor consumatori (receptoare);
- în regim normal de lucru, funcționarea transformatoarelor trebuie condusă după graficul cel mai rațional;
- necesitatea dezvoltării în timp a consumatorului, care poate să ducă la instalarea unor transformatoare mai puternice sau la mărirea numărului lor.

Se recomandă:

- instalarea de transformatoare cu încărcare maximă în regim normal de 60-80% din puterea nominală;
- admiterea supraîncărcării transformatorului, în timpul funcționării în caz de avarie, de exemplu până la 130% din puterea sa nominală, pe timp de două ore (pentru transformatoare imersate în ulei);
- verificarea puterii nominale alese din punct de vedere al condițiilor tehnice de funcționare (condiții normale de funcționare, condiții de pornire a motoarelor, curenți de scurtcircuit admisibili pe joasă tensiune, inclusiv în cazul funcționării în paralel, a se vedea 11.1.4).

Dimensionarea puterii P a postului de transformare se realizează pe baza puterilor de calcul P_{ci} evaluate pentru instalația alimentată. Valori de proiectare recomandate, în lipsa unor date exacte, pentru puterile de calcul aferente consumatorilor casnici urbani sau rurali, iluminat public și consumatori din sectorul terțiar sunt indicate în PE 132. În condițiile PE 132, pentru stabilirea puterii de dimensionare a unui post de transformare se va utiliza un coeficient general de simultaneitate de 0,85, aplicat la suma puterilor absorbite pe toate liniile de joasă tensiune alimentate în regim normal din postul de transformare.

$$P=0{,}85\sum_{i=1}^{n} P_{ci} \quad [\text{kW}] \qquad (11.1.1)$$

$$\cos\varphi_{med} = \frac{W_P}{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}} \qquad (11.1.2)$$

Factorul de putere mediu poate fi determinat cu relația (11.1.2) unde W_P și W_Q sunt valorile energiilor active și reactive pentru un interval de timp dat. Pentru proiectare se poate folosi o formă simplificată a acestei relații, înlocuind valorile energiilor cu cele ale puterilor.

Majoritatea aplicațiilor din industrie conțin sarcini neliniare, care generează un puternic regim nesinusoidal al curentului de alimentare. Exemple de sarcini neliniare sunt: calculatoare, UPS-uri, variatoare de turație, invertoare etc. Prezența armonicilor curentului cu frecvențe superioare frecvenței undei fundamentale poate conduce la mărirea pierderilor în sarcină și implicit la su-

praîncălzirea transformatorului. Metode de calcul pentru determinarea puterii nominale a transformatoarelor în ulei sau uscate având curenți de sarcină nesinusoidali sunt indicate în SR EN 50464-3:2007, respectiv SR HD 538.3 S1:2004.

11.1.3. Stabilirea puterii nominale economice pentru transformatoare

Un transformator are pierderi de putere și energie în fier, datorită magnetizării miezului (pierderi de mers în gol P_0) și pierderi de putere în înfășurări datorită trecerii curentului (pierderi la mers în sarcină P_K).

Pierderile la mers în gol sunt generate totdeauna când transformatorul este sub tensiune și în mod uzual sunt considerate timp de 8760 h/an. Acestea sunt independente de sarcină.

Suma ambelor tipuri de pierderi reprezintă o pierdere de energie care este transformată în căldură și trebuie evacuată de sistemul de răcire al transformatorului.

Deoarece energia are un anumit cost, este important să se cunoască și valoarea financiară a pierderilor generate pe durata de viață a transformatorului, și nu doar investiția inițială de achiziție a acestuia.

Profilul sarcinii, pierderile transformatorului și costul energiei trebuie luate în considerare pentru alegerea combinației optime de pierderi la mers în gol și la mers în sarcină.

Valorile pierderilor prezentate în tabelele II.11.2, II.11.3 și II.11.4 reflectă practica europeană la nivelul anului 2007.

Evaluarea investițiilor și a costurilor

Ca metodă de selectare a soluției optime, prescripțiile 3RE - Ip 51/1, 2 „Instrucțiuni privind stabilirirea puterilor nominale economice pentru transformatoare" stabilesc aplicarea criteriului minim al cheltuielilor totale actualizate (CTA) corespunzătoare unei durate de studiu.

Aceste cheltuieli cuprind: investiția în transformator și pentru instalarea acestuia, cheltuielile de exploatare și daunele datorate întreruperilor în alimentarea cu energie electrică, costuri de dezafectare, valoarea remanentă și valoarea reziduală a echipamentului.

Cheltuielile de exploatare cuprind trei componente și anume:

- cheltuieli de întreținere, de reparații și cu salarii C_{IRS}. În mod obișnuit, aceste cheltuieli se estimează a fi un procent (p_{ex}) din investiție (C_T), prin urmare:

$C_{IRS} = p_{ex} \cdot C_T$

- costul pierderilor de energie electrică din miezul magnetic al transformatorului,
- costul pierderilor de energie electrică din înfășurările transformatorului la sarcina maximă anuală.

După practica țărilor cu sisteme energetice dezvoltate, pentru *CTA* nu se iau în considerare investiția de echivalare aferentă diferențelor de putere instalată între variantele comparate, valoarea remanentă a echipamentului după durata de studiu și nici valoarea reziduală la expirarea duratei de viață.

Daunele medii anuale (Dan) se estimează pe baza prevederilor din contractul de furnizare a energiei electrice.

În cazul în care se compară transformatoare de același tip, având aceeași putere nominală, cu excepția valorilor pierderilor, se pot neglija cheltuielile de instalare, de întreținere, de reparații, cu salariile, de dezafectare, precum și valoarea daunelor.

Astfel, conform SR EN 50464-1:2007, relația de calcul simplificată a *CTA* este:

$$CTA = C_T + A \cdot P_0 + B \cdot P_K \qquad (11.1.3)$$

unde:

CTA - cheltuieli totale actualizate

C_T - costul transformatorului

A - costul pe unitatea de putere exprimat în moneda locală pe watt (de exemplu Euro/W) corespunzătoare pierderilor la mers în gol;

P_0 - pierderile la mers în gol garantate, în Watt;

B - costul pe unitatea de putere exprimat în moneda locală pe Watt (de exemplu Euro/W) corespunzătoare pierderilor la mers în sarcină;

P_K - pierderile la mers în sarcină garantate, în Watt.

Pe baza acestui criteriu se poate stabili varianta optimă tehnico-economică pentru o aplicație dată și anume pentru un set de parametri *A* și *B*. Ofertele mai multor furnizori vor conține pentru acești parametri valorile C_{Ti}, P_{0i}, P_{ki}, care introduse în relația *CTA*, vor conduce la valori $CTA_i = C_{Ti} + A \cdot P_{0i} + B \cdot P_{ki}$. Se alege transformatorul care conduce la *CTA* minime.

Totuși, evaluarea se poate schimba în timp și poate fi diferită funcție de politicile energetice și investiționale.

În 3RE - Ip 51/1, 2 se operează cu următoarele noțiuni:

- *puterea nominală a transformatorului* (S_{NT}), este valoarea convențională a puterii aparente luată ca bază la construcție, la garanțiile și la încercările transformatorului;
- *puterea nominală economică* ($S_{n,ec}$) este valoarea, din scala puterilor nominale normalizate pentru transformatoarele din posturi, cu care, în condițiile de exploatare date, se obține un minimum al eforturilor de investiții, cumulate cu totalul cheltuielilor actualizate, datorită consumurilor tehnologice proprii;
- *sarcina maximă anuală a transformatorului* (S_M) este puterea aparentă maximă de durată din anul considerat, cu care transformatorul se încarcă în condițiile unei funcționări în regim normal;
- *coeficientul de încărcare la sarcina maximă anuală (k)* este raportul dintre sarcina maximă a trasformatorului și puterea sa nominală;
- *durata de utilizare a sarcinii maxime anuale* (T_M) se exprimă cu relația:

$$T_M = 1{,}03 \frac{\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}}{S_M} \qquad (11.1.4)$$

în care:

W_P și W_Q - reprezintă estimările cu privire la totalul energiei active și, respectiv, totalul energiei reactive care se așteaptă a fi tranzitate prin transformator în primul an de exploatare.

- timpul de calcul al pierderilor anuale în sarcină (τ), care, pentru rețelele de distribuție publică, poate fi calculat cu relația (conform NTE 401/03/00)

$$\tau = T_M \frac{10000 + T_M}{27520 - T_M} \qquad (11.1.5)$$

În relația *CTA*, pentru un post de abonat din sectorul industrial sau terțiar parametrii aferenți P_0 și P_k pot fi calculați cu relațiile:

$$A = c_w \cdot T \cdot T_{ts} \qquad (11.1.6)$$

$$B = c_w \cdot t \cdot k^2 \cdot T_{ts} \qquad (11.1.7)$$

unde:

c_w - prețul energiei [Euro/kWh]

T - durata anuală de funcționare, uzual 8760 h/an

T_{ts} - factor de actualizare aferent unei rate de actualizare „a", pentru o durată de studiu D_s [ani], calculat cu relația:

$$T_{ts} = \frac{1 - (1 + a)^{D_s}}{a} \qquad (11.1.8)$$

În relațiile de mai sus se presupune că prețul energiei și coeficientul de încărcare rămân constante pe durata D_s.

Exemplu

Pentru un punct de consum cu T_M=5000 h/an și S_M=300 kVA, se consideră trei modele constructive de transformatoare având S_{NT}=400 kVA (v. tabelele II.11.2 și II.11.3):

Model	Combinația de pierderi Conf. EN 50464-1:2007	C_T [Euro]
M1	Bk-Co	7540
M2	Ck-Eo	6760
M3	Ak-Ao	9100

Pentru acest consumator, considerând D_s=20 ani, a=10%, c_w=0,09 eur/kWh, parametrii aferenți P_0 și P_k au valorile A=6,7 eur/W și B=1,4 eur/W și, introducând în (11.1.3), rezultă următoarele valori ale *CTA*:

Model	CTA [Euro]	
	T_M=5000 h/an	T_M=2000 h/an
M1	17161	13195
M2	19605	14867
M3	16651	13304

Se observă că, deși M3 are cel mai mare preț de achiziție, pe termen lung, conform criteriului *CTA*, M3 este cea mai bună investiție având valoarea *CTA* minimă, de 16651 Euro. Dacă în exemplul considerat T_M=2000 h/an, celelalte date rămânând aceleași, rezultă că M1 este cea mai bună investiție pe termen lung, deși nu are prețul de achiziție minim.

11.1.4. Funcționarea în paralel a transformatoarelor

Se consideră că transformatoarele funcționează în paralel atunci când sunt conectate în paralel atât pe partea de înaltă tensiune cât și de joasă tensiune. Condițiile pentru funcționarea în paralel a transformatoarelor sunt:

- grupe de conexiuni cu același indice numeric (defazaj). Doar bornele terminale cu același simbol se leagă în paralel;
- rapoarte de transformare pe cât posibil egale;
- tensiuni de scurtcircuit diferite cu maximum ± 10 % față de valoarea medie la toate unitățile ce trebuie să funcționeze în paralel;
- raportul puterilor nominale sub 3:1.

Distribuția sarcinii pe transformatoarele conectate în paralel cu tensiuni de scurtcircuit diferite.

Pentru transformatoarele conectate în paralel având tensiuni de scurtcircuit diferite, prin fiecare transformator va tranzita o sarcină parțială ca și când toate transformatoarele ar avea aceeași tensiune medie de scurtcircuit.

Exemplu:

transformator 1:

S_{r1} = 100 kVA; u_{kr1} = 4,0 %

transformator 2:

S_{r2} = 250 kVA; u_{kr2} = 6,0 %

Total S = 350 kVA

Formula pentru calculul tensiunii de scurtcircuit rezultante se deduce din:

$$S/u_k = S_{r1}/u_{kr1} + S_{r2}/u_{kr2}$$

Tensiunea de scurtcircuit rezultantă este: u_k = 5,25 %

Puterea considerată preluată de fiecare transformator este:

$$S_1 = S_{r1}\, u_k / u_{kr1} = 100 \cdot 5{,}25/4 = 131{,}25 \text{ kVA}$$

$$S_2 = S_{r2}\, u_k / u_{kr2} = 250 \cdot 5{,}25/6 = 218{,}75 \text{ kVA}$$

$$S_{total} = S_1 + S_2 = 350 \text{ kVA}$$

În acest caz, transformatorul 1 este supraîncărcat cu cca 30%. Deoarece transformatoarele nu trebuie să fie supraîncărcate, rezultă că acestea pot furniza numai o sarcină parțială astfel încât tensiunea de scurtcircuit a fiecăruia să fie u_k = 4% ca în cazul transformatorului 1. Prin urmare,

$$S_1 = 100 \cdot 4/4 = 100 \text{ kVA}$$
$$S_2 = 250 \cdot 4/6 = 167 \text{ kVA}$$
$$S_{total} = S_1 + S_2 = 267 \text{ kVA}$$

Dacă această putere nu este suficientă, se va instala încă un transformator de 100 kVA cu u_k = 4 %.

Efectul rapoartelor de transformare diferite ale transformatoarelor conectate în paralel

Atunci când funcționează în paralel transformatoare cu tensiuni diferite ale prizelor de reglaj pot apare curenți tranzitorii periculoși. Acest curent de echilibrare se suprapune peste curenții de sarcină ai transformatorului și se adaugă curentului transformatorului care are o tensiune de mers în gol a secundarului mai mare.

În posturile de transformare cu două sau mai multe transformatoare, nu este întotdeauna economic ca toate transformatoarele să funcționeze în paralel, după cum nu este totdeauna indicat să lucreze un singur transformator, chiar dacă sarcina nu depășește puterea sa nominală.

11.1.5. Construcția transformatoarelor și caracteristici

Transformatorul este o mașină electrică destinată să transfere energia electrică de la un sistem electric cu tensiunea nominală U_1 la un sistem electric cu altă tensiune nominală U_2.

Condițiile tehnice generale pentru transformatoarele de putere sunt specificate în SR CEI 60076, iar condițiile specifice pentru transformatoarele de distribuție uscate în SR HD 538.1 S1:2003 și pentru transformatoarele de distribuție în ulei, în SR EN 50464-1:2007.

După natura **mediului de izolație**, transformatoarele sunt grupate în trei clase:

- Transformatoarele de clasă A sunt de tip uscat, miezul și înfășurările nu sunt conținute într-un lichid izolant. Pierderile de căldură sunt disipate direct în mediul ambiant, motiv pentru care necesită o suprafață mare și o densitate de curent mică. Se construiesc până la aproximativ 20 000 kVA și la maximum 36 kV.
- Transformatoarele de clasă O sunt transformatoarele cu miezul și înfășurările imersate în ulei mineral sau într-un lichid sintetic similar cu un punct de aprindere ≤ 300°C care este atât mediu de răcire, cât și de izolare.
- Transformatoarele de clasă K sunt transformatoarele cu miezul și înfășurările imersate într-un lichid sintetic cu un punct de aprindere > 300°C care este atât mediu de răcire cât și de izolare. Constructiv sunt asemănătoare cu transformatoarele de clasă O.

Metoda de răcire este declarată de producător prin patru litere majuscule, primele două litere denumesc agentul de răcire și modul de circulație pentru înfășurare și ultimele două litere indică agentul de răcire și modul de circulație pentru răcirea suprafeței exterioare a transformatorului (a se vedea tabelul II.11.1).

Tabelul II.11.1 - Simbolizarea sistemelor de răcire

Agentul de răcire	Simboluri
Ulei mineral sau un lichid sintetic echivalent cu punct de aprindere ≤ 300 °C	O
Alte lichide sintetice, cu punct de aprindere > 300 °C	K
Gaz	G
Aer (transformatoarele de tip uscat)	A
Apă	W
Circulația agentului de răcire	**Simboluri**
Circulație naturală	N
Circulație forțată (nedirecționată)	F
Circulație forțată (direcționată)	D

Exemple: AN - Transformator de tip uscat cu circulație naturală a aerului;

ONAN - Transformator cu miezul și înfășurările imersate în ulei cu răcire prin circulația naturală a aerului.

Caracteristicile electrice pentru transformatoarele de distribuție de la 50 kVA până la 2 500 kVA, 50 Hz, imersate în ulei mineral, răcite prin circulația naturală a aerului, cu două înfășurări, sunt acoperite de SR EN 50464-1:2007.

- Valorile puterii nominale sunt:

50 kVA – 100 kVA – 160 kVA – 250 kVA – 315 kVA – 400 kVA – 500 kVA – 630 kVA – 800 kVA – 1 000 kVA – 1 250 kVA – 1 600 kVA – 2 000 kVA – 2 500 kVA.

Valorile subliniate sunt preferate.

- Valorile tensiunilor cele mai mari pentru echipament sunt:
  - pentru înfășurările de înaltă tensiune: 3,6 kV – 7,2 kV – 12 kV -17,5 kV – 24 kV – 36 kV
  - pentru înfășurările de joasă tensiune: 1,1 kV.
- Valorile uzuale ale tensiunii nominale a înfășurării de înaltă tensiune sunt:

6 kV, 10 kV, 20 kV.

Pentru înfășurarea de joasă tensiune, tensiunea nominală trebuie aleasă dintre următoarele valori preferate: 400 V – 410 V – 415 V – 420 V – 433 V.

- Înfășurarea de înaltă tensiune poate fi prevăzută cu prize. Domeniile de reglaj ale prizelor sunt uzual ± 2,5 % sau ±2 x 2,5 % dacă nu se specifică altfel. Comutarea prizelor se face în absența sarcinii.
- Grupele de conexiuni recomandate pentru transformatoare de distribuție sunt: Y zn sau D yn pentru puteri nominale de 50 kVA și 100 kVA, și D yn pentru puteri nominale ≥ 160 kVA. Indicele defazajului trebuie să fie 5 sau 11, pentru care corespund simbolurile de conexiuni: Y zn 5; Y zn 11; D yn 5; D yn 11.
- Conductorul și borna neutrului înfășurării de joasă tensiune sunt dimensionate pentru curentul nominal și curentul de punere la pământ de defect, dacă nu se specifică altfel.
- Valorile preferate ale tensiunii de scurtcircuit la temperatura de referință de 75°C sunt:
  - 4 % pentru puterea nominală ≤ 630 kVA;
  - 6 % pentru puterea nominală ≥ 630 kVA.

Alte valori ale tensiunii de scurtcircuit pot fi specificate pentru condiții de funcționare particulare ale sistemului, de exemplu în cazul opțiunii funcționării în paralel.

Pierderi

Pentru transformatoare în ulei cu valori ale puterii nominale și tensiunii de scurtcircuit standardizate, în tabelele II.11.2 și II.11.3 sunt prezentate valorile pierderilor de putere la mers în sarcină și, respectiv, la mers în gol, determinate pentru $U_m = 24$ kV.

În tabelele II.11.2 și II.11.3, valorile din coloana A sunt cele mai mici valori de pierderi care se folosesc în mod obișnuit în Uniunea Europeană pentru instalații electrice.

În tabelul II.11.4 se prezintă pierderile de putere pentru transformatoare uscate.

Randamentul transformatorului cu puterea nominală S_N poate fi calculat pentru un factor de încărcare oarecare *(k)* cu relația:

$$\eta = \left(1 - \frac{k^2 \cdot P_k + P_0}{k \cdot S_N + k^2 \cdot P_k + P_0}\right) 100\ [\%] \qquad (11.1.9)$$

unde:

P_k și P_0 au semnificațiile de mai sus.

Factorul de încărcare (k_{opt}) pentru care randamentul este maxim este:

$$k_{opt} = \sqrt{\frac{P_0 \cdot T}{P_k \cdot \tau}} \qquad (11.1.10)$$

11.1.6. Construcția posturilor de transformare

În funcție de soluția constructivă, posturile de transformare pot fi clasificate după cum urmează:

- aeriene pe stâlpi metalici sau de beton;
- în cabină supraterană în anvelopă de beton sau de metal cu alimentare, de regulă, în cablu (eventual trecere din LEA în LES);
- în construcție la sol cu montaje exterioare;
- înglobate în construcții deservite;
- subterane.

Construcția posturilor de transformare prefabricate

Posturile de transformare în cabină

Tabelul II.11.2 - Pierderi de putere la mers în sarcină pentru transformatoare în ulei

Putere nominală	P_k [W] la 75°C pentru U_m=24 kV				Tensiune de scurtcircuit
[kVA]	D_k	C_k	B_k	A_k	[%]
100	2150	1750	1475	1250	
160	3100	2350	2000	1700	
250	4200	3250	2750	2350	4
400	6000	4600	3850	3250	
630	8400	6500	5600	4800	
630	8700	6750	5600	4800	
1000	13000	10500	9000	7600	6
1600	20000	17000	14000	12000	

Tabelul II.11.4 - Pierderi de putere la mers în sarcină și la mers în gol pentru transformatoare uscate

Putere nominală	Pierderi de putere la mers în sarcină (conform HD 538.1:2003)	Pierderi de putere la mers în gol (conform HD 538.1:2003)
[kVA]	P_k [W]	P_k [W]
100	2000	440
160	2700	610
250	3500	820
400	4900	1150
630 / 4%[1)]	7300	1500
630 / 6%	7600	1370
1000	10000	2000
1600	14000	280

Notă: [1)] Tensiunea de scurtcircuit a transformatoarelor este 4 % sau 6 % în cele mai multe cazuri. Acest parametru tehnic este important pentru proiectarea și dimensionarea rețelelor de joasă tensiune alimentate de transformatoare. Transformatoarele cu aceeași putere nominală dar cu tensiune de scurtcircuit diferită au o construcție diferită și de aceea pierderile sunt ușor diferite. Transformatoarele uscate conforme cu HD 538 au valoarea preferată pentru tensiunea de scurtcircuit de 4 % pentru transformatoare cu puterea nominală până la 630 kVA inclusiv și de 6 % pentru 630 kVA și peste.

supraterană sunt construcții prefabricate (fig.II.11.1), modulare, destinate utilizării în rețele de distributie publică sau industrială, în buclă sau radială. Aceste posturi sunt concepute pentru a fi amplasate in spații reduse, la distanțe mici in raport cu alte instalații și clădiri. Datorită finisajului exterior se încadrează ușor în arhitectura ambiantă.

Echipamentele postului sunt adăpostite într-o anvelopă metalică sau de beton, alcătuind împreună un ansamblu montat și testat în fabrică, montat pe o fundație prefabricată. Standardul internațional pentru construcția posturilor m.t./j.t. prefabricate este CEI 62271-202.

Posturile, din punctul de vedere al accesului la echipamentul inclus, pot fi cu exploatare din interior sau din exterior.

Echipamentele din post sunt montate în compartimente, al căror număr depinde de modul de exploatare, de cerințele de echipare și numărul de transformatoare: compartimentul celulelor de m.t., compartimentul transformatorului (compartimentele transformatoarelor), compartimentul tabloului de j.t. Pentru transformatoarele cu ulei se prevede o cuvă de colectare a eventualelor scurgeri de ulei, cu capacitatea de a reține întreaga cantitate de ulei din transformator în caz de avarie.

Standardul indică proceduri de testare pentru trei clase de certificare a eficacității protecției persoanelor în eventualitatea producerii unui arc electric intern: IAC-A, IAC-B, IAC A+B.

Pentru clasa IAC-A se verifică protecția personalului de exploatare aflat în fața echipamentului de m.t. din componența postului, considerându-se că accesul publicului în jurul postului este interzis.

Pentru clasa IAC-B se verifică protecția publicului aflat în afara postului, considerându-se permis accesul acestuia în jurul postului.

Pentru clasa IAC-AB se verifică atât protecția personalului de exploatare, cât și a publicului.

Se recomandă:
- dacă riscul datorat unui arc electric intern este considerat neglijabil, nu este necesar un post prefabricat clasificat IAC-A, IAC-B sau IAC A+B.
- dacă riscul datorat unui arc electric intern este considerat important, se va prevedea numai un post prefabricat clasificat IAC-A, IAC-B sau IAC A+B.

Posturile de transformare realizate într-o construcție sunt de două tipuri:
- supraterane (fig. II.11.2);
- subterane (fig. II.11.3).

În posturile supraterane se utilizează transformatoare cu ulei, avându-se posibilitatea realizării măsurilor pentru colectarea uleiului, iar în cele subterane, transformatoare uscate.

Realizarea posturilor de transformare subterane este dictată de spațiile limitate disponibile în zonele construite, ele prezentând dificultăți de realizare, tehnice și economice, costurile fiind mai ridicate decât la posturile supraterane, atât în ceea ce privește construcția, cât și echipamentul.

Montarea transformatoarelor în posturi se face conform prescripției PE 101.

11.1.7. Aparatajul aferent transformatoarelor

Echipamentul de medie tensiune trebuie să corespundă CEI 62271-200: Aparataj în anvelopă metalică pentru curent alternativ și tensiuni nominale până la 52 kV.

Se utilizează celule prefabricate, închise cu izolație în aer sau capsulate cu izolație în SF_6, de exemplu:
- celulă de linie în cablu, echipată cu separator de sarcină cu sau fără siguranțe fuzibile sau întreruptor, și separator de legare la pământ;
- celulă de transformator, echipată cu separator de sarcină și siguranțe fuzibile sau întreruptor, și separator de legare la pământ;
- celulă de măsură medie tensiune, echipată cu transformatoare de măsură de curent și de tensiune.

Transformatoarele de măsură utilizate pentru contorizare și decontare trebuie să aibă clasa de precizie în conformitate cu Codul de Măsurare (ANRE).

Caracteristici principale ale echipamentelor de comutatie de m.t. (celule capsulate) sunt următoarele:
- tensiunea nominală: 12 kV; 24 kV,
- tensiunea de ținere la frecvență industrială 50Hz, 1 min 50 kV,
- tensiunea de ținere la unda de impuls 125 kV,
- curentul nominal celula de linie (cu separator de sarcină sau întreruptor) 400; 630 A,
- curentul nominal celula trafo (cu separator de sarcină/cu întreruptor în vid sau SF_6) 200 / 630 A,
- curentul nominal de stabilitate termică 16 kA, 1s (3s),
- curentul nominal de stabilitate dinamică 40 kA max.,
- gradul de protecție cf. CEI 60529: IP 65.

Pe panoul frontal, celulele de m.t. sunt echipate cu dispozitive pentru acționare și indicatoare de poziție a aparatelor de comutație primară și indicatoare cu divizor capacitiv de

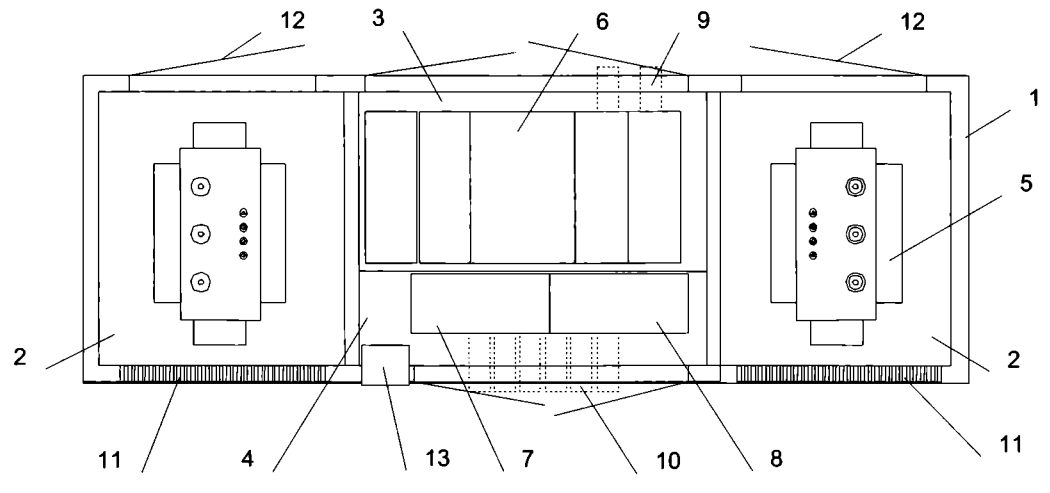


Fig. II.11.1. Post de transformare prefabricat:
1 - cabină prefabricată; 2 - compartiment transformator; 3 - compartiment de medie tensiune; 4 - compartiment de joasă tensiune; 5 - transformator de putere; 6 - celule de medie tensiune; 7,8 - tablou de joasă tensiune; 9 - acces cabluri de medie tensiune;10 - acces cabluri de joasă tensiune; 11 - grile de ventilație; 12 - ușă de acces cu fante; 13 - cutie contorizare.

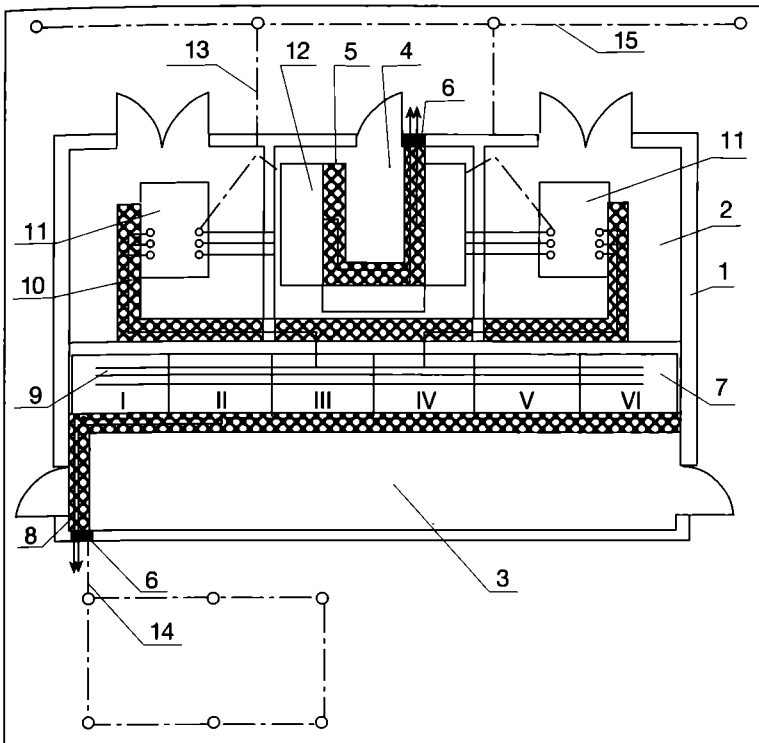


Fig. II.11.2. Post de transformare în construcție zidită, suprateran:
1- construcția postului de transformare; 2 - boxă transformator; 3 - cameră de medie tensiune; 4 - cameră de joasă tensiune; 5 - canal cabluri de joasă tensiune; 6 – tuburi de protecție cabluri; 7 - celule de medie tensiune; 8 - cabluri de medie tensiune; 9 - bare de medie tensiune; 10 - cabluri de medie tensiune (legătura la transformator); 11- transformator; 12 - tablou de joasă tensiune; 13 - legătură la priza de pământ; 14 - priză de pământ-medie tensiune; 15 - priză de pământ - joasă tensiune.

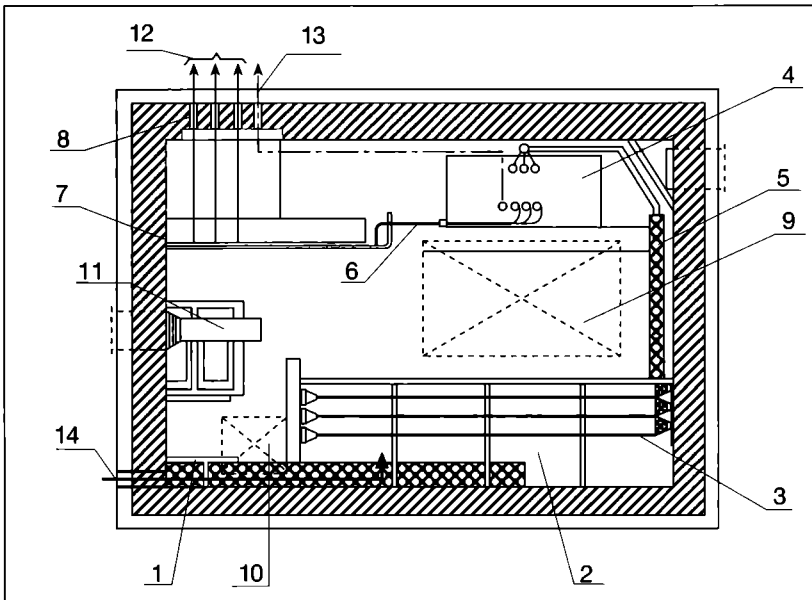


Fig. II.11.3. Post de transformare subteran:
1 - tuburi de protecție pentru intrarea cablurilor de medie tensiune; 2 - celule de medie tensiune; 3 - cablu de conectare a transformatorului; 4 - transformator; 5 - canal de cabluri medie tensiune; 6 - bare de distribuție joasă tensiune; 7 - tablou de joasă tensiune; 8 - tuburi de protecție cabluri de joasă tensiune; 9 - trapă acces echipament; 10 - trapă acces personal; 11 - ventilator de evacuarea a căldurii; 12 - la rețeaua de distribuție de joasă tensiune (consumatori); 13 - la priza de pământ; 14 - din rețeaua de medie tensiune.

prezență a tensiunii pe fiecare fază a cablului.

Pentru protecția personalului de exploatare împotriva unor manevre nepermise sunt prevăzute:
- interblocaje la acționarea aparatelor de comutație
- bariere și blocaje împotriva atingerii părților aflate sub tensiune, de către personalul de exploatare.

Tabloul de joasă tensiune trebuie să corespundă SR EN 60439-1.

Poate fi echipat pe sosire cu separator de sarcină (cu sau fără siguranțe) sau întreruptor automat fix sau debroșabil, dimensionat în funcție de curentul admisibil din secundarul transformatorului din post.

Circuitele de plecare j.t. se echipează cu siguranțe MPR în montaj fix sau tip separator în blocuri trifazate.

Tabloul de distribuție de joasă tensiune poate fi echipat cu circuite de măsură a energiei electrice:
- transformatoare de curent pentru măsurare;
- circuite de tensiune prevăzute cu siguranțe automate tripolare;
- cutie separată care poate fi sigilată pentru montarea contorului de energie pentru decontare.

Protecția transformatoarelor se realizează atât la curenții de scurtcircuit și suprasarcină care apar în instalație, cât și la defectele interne prin:
- relee de protecție prevăzute în celulele de m.t. și întreruptoare automate sau siguranțe fuzibile de medie tensiune, la transformatoare de puteri mici;
- protecții tehnologice ale transformatorului: de gaze, de temperatură.

Protecția la suprasarcină se realizează cu relee termice, montate la joasă tensiune. La consumatorii unde suprasarcinile sunt frecvente sau există instalații de automatizare, este necesar să se monteze întreruptoare.

Protecția trebuie să fie dimensionată astfel încât să asigure selectivitatea prin temporizare între releele electromagnetice ale întreruptorului de medie tensiune și cele ale întreruptorului de joasă tensiune.

11.2. Instalații pentru sursele de rezervă proprii

Pentru alimentarea cu energie electrică a instalației în cazul în care alimentarea de la sistemul public de distribuție se întrerupe datorită unor defecte, se prevăd surse de alimentare de rezervă care pot substitui, de regulă automat, sursa normală pe durata indisponibilității acesteia. Sursa de alimentare de rezervă este dimensionată de regulă să preia întregul consum al instalației și poate fi o altă linie elec-

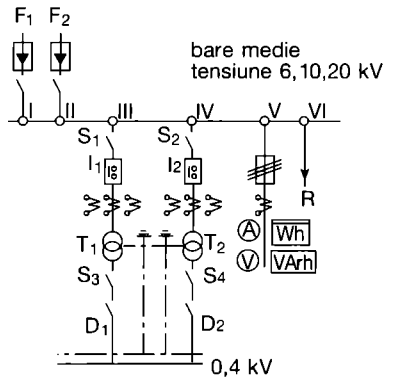


Fig. II.11.3. Schema unui post de transformare cu două unități:
1, 2 - fidere de alimentare (linie în cablu); 3 - celulă de măsură;
4, 5 - celule de transformator;
T - transformatoare de putere.

trică de m.t. sau j.t., sau un grup electrogen.

Surse de alimentare de siguranță sunt acele surse de rezervă independente, autonome, care se prevăd pentru a prelua alimentarea receptoarelor care necesită o siguranță deosebită în alimentare, în cazul în care celelalte surse au ieșit din funcțiune. Sursele de alimentare de siguranță sunt dimensionate să preia doar consumul receptoarelor specificate și pot fi grupuri electrogene, baterii de acumulatoare și surse neintreruptibile pe bază de baterii de acumulatoare (UPS, invertoare).

11.2.1. Grup electrogen

În cazul în care consumatorul de energie electrică include și receptoare care necesită o alimentare de siguranță, este obligatorie prevederea unei surse proprii de rezervă, cel mai indicat fiind grupul electrogen. Grupurile electrogene au avantajul că sunt disponibile într-o gamă largă de puteri nominale la joasă tensiune și au o întreținere relativ ușoară.

Dezavantajul grupurilor electrogene constă în faptul că pornirea lor (normală sau automată) necesită un timp în care receptoarele respective nu sunt alimentate de ordinul 5-20 secunde.

Grupurile electrogene de curent alternativ sunt formate din generatoare sincrone antrenate de motoare cu combustie internă. În tabelul II.11.5 sunt prezentate câteva din caracteristicile tehnice ale unei familii de grupuri electrogene de 20÷200 kVA (Schick Gmbh). Datele respective sunt puse la dispoziția utilizatorilor de către fabricanții de echipamente.

Construcție

Motorul de antrenare este de regulă un motor cu aprindere prin compresie (Diesel) construit special pentru antrenarea grupului electrogen și este de tip industrial în doi sau patru timpi. Pentru grupuri cu puteri nominale mai mari de 100 kW, se utilizează în mod curent motoare Diesel cu turbo-compresie, având o turație nominală de 1500 rot/min. Aceasta, pe lângă un raport optim greutate/putere, permite cuplajul direct al motorului la generatorul sincron. O particularitate a motoarelor cu turbo-compresie este aceea că nu pot furniza puterea nominală într-o singură treaptă.

Sistemul electric al motorului Diesel cuprinde un demaror, o baterie de pornire de 12 Vc.c.sau 24 Vc.c., un alternator și un redresor pentru menținerea bateriei în stare încărcată, și un regulator electronic de turație.

Sistemul de răcire include un radiator, un ventilator și un termostat. Pentru reducerea timpului de pornire la rece se utilizează preîncălzirea lichidului de răcire.

Puterea generată de grupul electrogen este produsă de alternator care este, de regulă, de tipul fără perii, autoexcitat și echipat cu regulator de tensiune inclus.

Motorul și alternatorul sunt montate pe un șasiu comun din oțel. La modelele compacte, rezervorul de carburant este înglobat în șasiu și asigură o durată de funcționare, în plină sarcină, de 8 ore.

Grupurile electrogene sunt prevăzute cu dispozitive pentru atenuarea vibrațiilor, precum și cu atenuatoare de zgomot montate pe eșapament care reduc nivelul de zgomot produs de motor.

Din punctul de vedere al tipului constructiv, grupurile electrogene pot fi: deschise (pentru montaj într-o încăpere) și închise în anvelopă (destinate a funcționa în exterior). Din ultima categorie fac parte grupurile mobile.

Pentru grupurile electrogene de tip închis, în anvelopă (fig. II.11.5):

- anvelopa grupului Diesel este realizată din oțel, având o protecție durabilă la coroziune și abraziune, rezistentă la acțiunea factorilor de mediu specifici montajului în exterior.
- anvelopa este prevăzută cu uși și panouri demontabile din oțel, prevăzute cu balamale și încuietori din oțel inoxidabil, ce facilitează accesul la echipamentele din interior, cum ar fi motor, generator, baterie de pornire, indicatoarele de nivel și bușoanele de umplere ale fluidelor motorului (combustibil, ulei, lichid răcire).
- rezervorul de combustibil este înglobat în rama de bază;
- în dreptul dulapului de automatizare, anvelopa este prevăzută cu fereastră pentru vizualizarea indicațiilor. Butonul de oprire de urgență a grupului este accesibil din exteriorul anvelopei.
- în interiorul anvelopei se prevăd iluminat interior și instalații de climatizare, încălzire, anticondens, necesare funcționării ansamblului în condițiile specificate.

Instalația de comandă, protecție, automatizare se realizează într-un dulap montat pe șasiul grupului sau, pentru echipări speciale, montat separat în încăpere și este realizată în jurul unui automat programabil cu microprocesor. Interfața cu utilizatorul se realizează printr-un display cu cristale lichide, butoane și chei de comandă, indicatoare luminoase. Tabloul de comanda digital Power Wizard 2.0 (CATERPILLAR) (fig. II.11.6) realizează următoarele funcții standard:

a. Măsurarea principalilor parametri de funcționare, prin:
Voltmetru (între cele 3 faze, între cele 3 faze și nul)
Ampermetru (pe fiecare fază, media)
Frecventmetru/tachometru
Wattmetru (total și pe fiecare dintre faze)
VARmetru (total și pe fiecare dintre faze)
VAmetru (total și pe fiecare dintre

Tabelul II.11.5 - Grupuri electrogene antrenate de motoare Diesel

Generator Putere nominală - regim de intervenție [kVA]	Motor de antrenare Turație 1500 rpm			Capacitate rezervor (inclus în rama de bază) [l]
	Consum la 3/4 sarcină [l/h]	Număr cilindri	Capacitate cilindrică [l]	
20	5,2	3	2,9	100
30	5,2	3	2,9	100
40	8,4	3	2,9	100
60	12	4	4,5	180
70	12	4	4,5	180
80	14	4	4,5	180
100	16,5	4	4,5	190
120	18,5	6	6,70	340
150	25	6	6,70	340
180	31,3	6	6,70	340
200	32,6	6	6,70	340

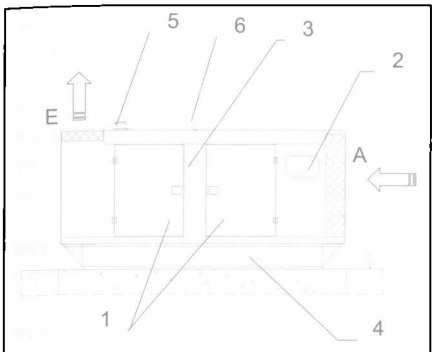


Fig. II.11.5 Grup Diesel tip închis, de exterior
1-uși de acces; 2-panou de comandă și automatizare; 3-buton "Oprire de urgență"; 4-rezervor de combustibil înglobat în bază; 5-eșapament; 6-ochi de ridicare; A-grile admisie aer; E-grilă evacuare aer.

faze)
Contor energie activă
Contor energie reactivă
Factor de putere
Contor orar
Indicator de presiune a uleiului
Indicator de temperatură a apei
Voltmetru baterie
Viteza motorului
Contor porniri eșuate ale grupului
Contor porniri ale grupului

b. Comanda:
3 butoane pentru pornire manuală / oprire / mod automat
Buton oprire urgență (tip ciupercă roșie)
Buton testare lămpi
Buton pentru afișarea parametrilor motorului
Buton pentru afișarea parametrilor alternatorului

c. Dispozitiv de oprire de siguranță cu indicatoare pentru:
Temperatură ridicată a apei cu oprirea grupului
Presiune scăzută a uleiului cu oprirea grupului
Temperatură ridicată a apei fără oprirea grupului
Presiune scăzută a uleiului fără oprirea grupului
Grupul nu este în mod automat
Redresor de baterie defect
Start ratat
Supraturație
Subturație
Pierdere detecție turație motor
Subtensiune / supratensiune baterie
Supracurent

d. Dispozitiv de semnalizare cu LED pentru:
avarie grup electrogen
alarmă grup electrogen
pornire grup manual
pornire grup automat
oprire grup

e. Măsurarea la distanță a parametrilor electrici și mecanici prin protocol de comunicație standard.

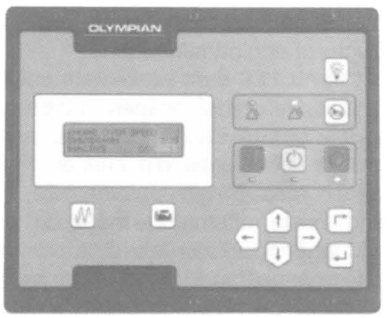


Fig. II.11.6 Tablou de comandă digital

Scheme tipice de racordare la barele de distribuție a grupului generator sunt prezentate în fig. II.11.7.

Dimensionare

Puterea grupului Diesel se alege pentru a acoperi consumul receptorilor vitali din instalație. La stabilirea puterii cerute se aplică un coeficient general de simultaneitate (k_s) stabilit în funcție de regimul de funcționare al instalației. În lipsa unor date precise se poate adopta k_s = 0,8÷0,85. Se recomandă ca puterea cerută rezultată din calcul să reprezinte cca 70% din puterea nominală a grupului ales, pentru ca acesta să poată furniza și puterea reactivă absorbită de sarcină, precum și curenții de șoc apăruți la conectarea unor receptoare importante.

Pentru dimensionarea corectă a ansamblului motor-generator, trebuie indicate furnizorului:
- regimul de funcționare al grupului electrogen: ca sursă de intervenție (funcționează numai în cazul pierderii alimentării de la rețea) sau ca sursă de bază (funcționare continuă).
- structura sarcinii precum și modul de aplicare a acesteia la bornele generatorului. Valoarea uzuală în proiectare pentru ponderea în puterea generatorului a motoarelor electrice este de 50%, respectiv a redresoarelor statice sau UPS-urilor de 20%, iar pentru sarcina treaptă aplicată este de cca. 50% S_N (pentru motoarele diesel cu turbo-compresie).

Amplasarea grupului electrogen

Pentru determinarea locului de amplasare trebuie avute în vedere următoarele:
- ventilare corespunzătoare;
- protecție contra intemperiilor;
- protecție la pulberi, praf etc;
- existența unui spațiu liber de minimum un metru în jurul grupului și de doi metri deasupra sa;
- asigurarea accesului grupului în sala de montaj;
- traseul canalelor de cabluri electrice și a conductelor de combustibil.
- traseul conductelor (canalelor) pentru aspirație, respectiv refulare a gazelor arse.

Indicațiile privind montarea grupului

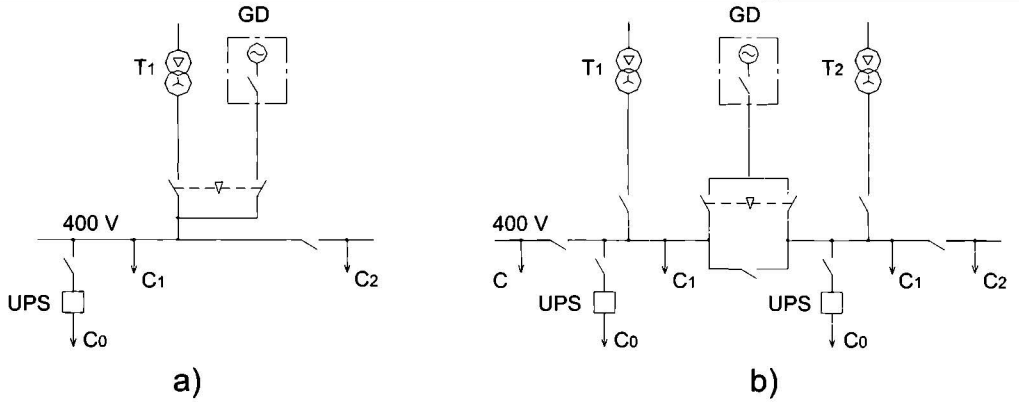


Fig. II.11.7. Scheme de racordare a grupului electrogen
a) cu „inversor de sarcină"; b) cu racordare separată la bare și instalație AAR;
T – transformatoare, GD – grup electrogen, C_0 – receptoare vitale ce nu acceptă întreruperea alimentării, C_1 – receptoare vitale ce acceptă întreruperea alimentării pe o perioadă limitată, C_2 – receptoare nevitale ce vor fi deconectate automat înainte de conectarea grupului electrogen.

pe fundație, asigurarea ventilării și încălzirea încăperii sunt date de constructorul echipamentului.

În fig. II.11.8 sunt prezentate soluțiile de ventilare a unei încăperi în care este montat grupul electrogen, care aspiră aerul de combustie din interior. Fluxul de aer rece traversează camera, trecând peste alternator, motor și este evacuat prin radiator (aerul de combustie fiind aspirat din interiorul camerei).

Golurile prevăzute în pereții încăperii pentru admisia (1) și evacuarea aerului (2) trebuie să fie dimensionate corespunzător, pentru a permite intrarea și ieșirea normală a aerului din incintă. Gurile de ventilare vor fi prevăzute cu jaluzele fixe sau mobile cu deschidere automată.

11.2.2. Baterii de acumulatoare

Bateriile de acumulatoare au drept scop alimentarea cu energie electrică a unor receptoare de curent continuu care pot fi:
- receptoare de intervenție în cazul dispariției tensiunii alternative (iluminatul de siguranță, agregate pentru menținerea în stare de funcționare a unor echipamente de bază etc);
- aparate de comandă și protecție din circuitele de automatizare;
- mecanisme de acționare.

Tensiunea continuă furnizată de bateriile de acumulatoare poate fi utilizată de asemenea prin invertoare pentru a realiza „alimentarea sigură" (UPS) a instalațiilor importante care funcționează în c.a. și nu admit întreruperea alimentării, cum ar fi rețelele de calculatoare, echipamente digitale pentru conducerea de proces și protecție.

În cadrul instalațiilor de curent continuu se utilizează următoarele tensiuni nominale: 24, 48, 110 și 220 V. Se pot utiliza și alte tensiuni nominale (de exemplu, 60 V), pentru echipamente care au receptoare alimentate la această tensiune.

Alegerea tensiunii nominale se face ținând seama de tensiunea nominală a receptoarelor și de considerente tehnico-economice, în special, determinate de secțiunea conductoarelor și de tensiunea minimă admisă de către receptoare. Pentru receptoare în curent continuu cu tensiune nominală diferită de cea a bateriei se pot utiliza convertoare c.c./c.c.

Receptoarele alimentate de la bateriile de acumulatoare pot fi clasificate în următoarele categorii:
- după perioada în care funcționează:
  - oricând;
  - numai când dispare tensiunea în instalațiile alimentate în curent alternativ (perioada de avarie);
- după durata de funcționare:
  - receptoare de lungă durată (câteva minute sau permanent);
  - receptoare de scurtă durată (numite și receptoare de șoc, nedepășind, de regulă, câteva secunde);
- după continuitatea alimentării (numai pentru receptoarele de lungă durată):
  - receptoare care nu admit nici o întrerupere a alimentării în timpul funcționării (ex. calculatoarele electronice, releele de protecție și automatizare etc);
  - receptoare care admit scurte întreruperi (de ordinul secundelor) în alimentare în timpul funcționării (ex. iluminatul de siguranță, lămpi de sem-nalizare etc).

Tensiunea nominală a receptoarelor precum și domeniul de variație admis a acesteia la bornele lor sunt indicate de către furnizori. La lămpile pentru iluminatul de siguranță și semnalizare, tensiunea maximă este limitată de reducerea duratei de viață, iar cea minimă, de scăderea randamentului luminos.

Sursele normale de alimentare ale instalațiilor de curent continuu vor fi, de regulă, redresoarele de c.a./c.c., iar ca surse de siguranță se vor folosi baterii de acumulatoare și convertoare c.c./c.a. (invertoare).

Regimul de funcționare a surselor de alimentare va fi următorul:
- în mod obișnuit, una din sursele normale (redresoare de c.a./c.c), funcționând în paralel cu sursa de siguranță (bateria de acumulatoare), va asigura întregul consum de curent continuu, inclusiv, încărcarea permanentă a bateriei de acumulatoare. În această situație, bateria de acumulatoare va participa numai la asigurarea consumului receptoarelor de curent continuu în caz de defect pe partea de curent alternativ;
- la ieșirea din funcțiune a unui redresor, celălalt redresor va asigura întregul consum de curent continuu;
- la ieșirea din funcțiune a ambelor redresoare, bateria de acumulatoare va trebui să asigure, pe toată durata normată a avariei, întregul consum de curent continuu.

Schema electrică a serviciilor proprii de curent continuu va fi astfel alcătuită încât să facă posibilă separarea electrică și scoaterea de sub tensiune a diverselor părți de circuit în vederea reviziilor, a reparațiilor și a localizării defectelor cu simple puneri la pământ, fără întreruperea alimentării receptoarelor importante.

Pentru fiecare baterie de lucru va exista, de regulă, câte un sistem simplu de bare colectoare. Sistemul poate fi secționat în două secții, în acest caz bateria fiind racordată la ambele secții de bare, prin intermediul unei cuple longitudinale, iar sursele de încărcare (de bază și de rezervă), fiecare la câte una din secții (fig. II.11.9.).

Bateria de acumulatoare este racordată în permanență, la două secții de bare 1 și 2 prin două întreruptoare. Redresoarele R_1 și R_2 se racordează fiecare la câte o secție de bare colectoare prin întreruptoare automate. În regim normal de exploatare, un redresor este cuplat la bare, alimentând receptoarele de curent continuu și asigurând permanența încărcării, iar celălalt redresor este în rezervă (deconectat).

Bateriile de acumulatoare utilizate, de regulă, în instalațiile de curent continuu sunt baterii de acumulatoare staționare, acide cu plumb sau alcaline nichel - cadmiu (Ni-Cd) (tabelul II.11.6).

Acumulatoarele acide sunt de două tipuri:
- neetanșe, cu posibilități de intervenție și corecție în cadrul operațiilor de întreținere;
- etanșe, considerate "fără întreținere corectivă". Din această categorie fac parte acumulatoarele capsulate cu supapă de suprapresiune (VRLA), cu electrolitul fixat în gel sau cu electrolitul absorbit în separatoare pe bază de fibră de sticlă (AGM).

În interiorul acumulatoarelor acide, în funcționare se produce hidrogen și oxigen. Acumulatoarele VRLA sunt echipate cu o celulă de recombinare în care hidrogenul și oxigenul sunt recombinate în apă. Cantitatea foarte

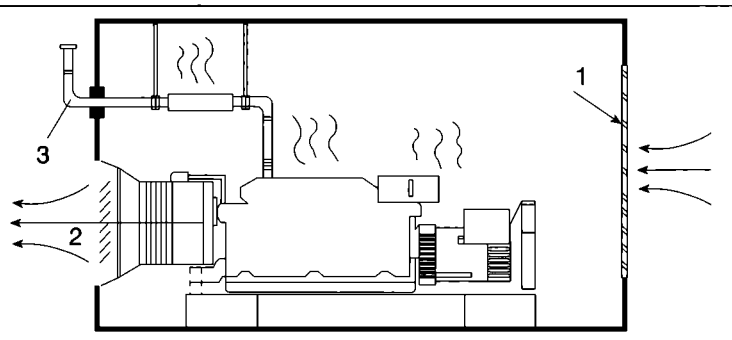


Fig. II.11.8. Ventilarea camerei grupului generator
1 - priză de aer; 2 - gură de evacuare; 3 - țeava de eșapament

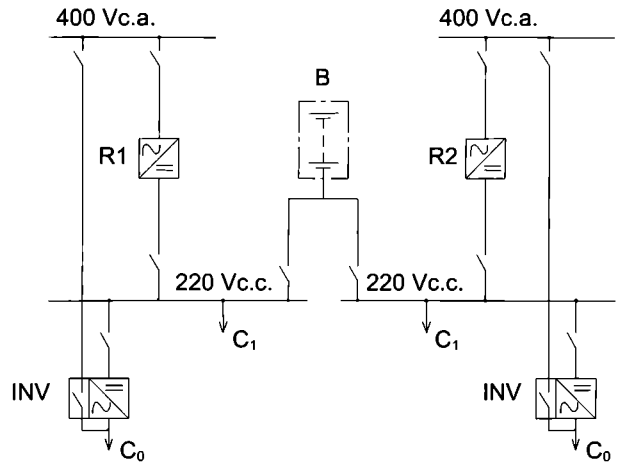


Fig. II.11.9. Schema electrică de principiu a racordării bateriei și redresoarelor cu reglare automată la barele de curent continuu

R - redresoare; B - baterie; INV – invertoare cu comutator static; C_1 – receptoare în c.c.; C_0 – receptoare în c.a. ce nu admit întrerupere (alimentare sigură în c.a.)

redusă de hidrogen care scapă afară din celulă este indicată de fabricant și trebuie luată în considerare la asigurarea necesităților de ventilație ale încăperii pentru a evita pericolul de explozie.

Principalele avantaje ale bateriilor etanșe (capsulate), sunt:
- etanșeitatea; bateriile capsulate în timpul întregii durate de viață, nu necesită nici un fel de întreținere, nu necesită completare cu electrolit și nici cicluri de încărcare-descărcare;
- autodescărcarea este foarte redusă;
- toleranță la îngheț (AGM);
- nu există scurgeri de acid chiar în cazul deteriorării cuvei și nu necesită măsuri de protecție antiacidă în funcționare;
- nepoluante și economice - electrolitul fiind fixat în gel sau în porozitatea separatoarelor - prezintă disponibilitate completă de reîncărcare și nu creează probleme de mediu, deci nu au costuri suplimentare pentru amenajări și protecția mediului în exploatare;
- manipulare simplă fără riscuri implicate de prezența acidului sulfuric;
- tehnică de montare compactă și posibilitate de funcționare în diferite poziții.

Bateriile acide cu plumb, staționare, capsulate, fără întreținere, cu electrolitul imobilizat în gel, prezintă în plus următoarele avantaje: suportă descărcări profunde, fără a se deteriora; rezistență mare la ambalare termică; se elimină stratificarea acidului și depunerile de substanță activă; se elimină scurgerea chiar accidentală a electrolitului.

Dimensionarea bateriilor de acumulatoare

Capacitatea unei baterii se determină în ipoteza unei avarii în instalațiile de curent alternativ, pe baza caracteristicilor de descărcare ale tipului respectiv de acumulator, prin intermediul următorilor parametri:

I_a - curentul permanent absorbit de către receptoare în timpul avariei;

I_s - curentul maxim de șoc absorbit de către receptoare în timpul avariei;

T - durata convențională (teoretică) a avariei în instalațiile de curent alternativ;

U_E - tensiunea finală de descărcare

Capacitatea unei baterii este evaluată cu relația:

$$C_N = f(i, T, UE) \times k_1 \times k_2 \qquad (11.2.1)$$

unde:

$k_1 \approx 1{,}25$ - este un coeficient de corecție ce ține seama de diminuarea, acceptată de standard, cu 20 % a C_N la sfârșitul duratei de viață a acumulatorului;

k_2 - este un coeficient de corecție ce ține seama de diminuarea C_N pentru temperaturi mai scăzute decât cea nominală, $T_N = 20$ °C. Dependența $C_N - T_N$ este indicată de fabricant.

Numărul de elemente n (având U_N = 2 V/element pentru bateriile acide și U_N = 1,2 V/element pentru bateriile alcaline) se determină cu relația:

$$n = U_B / U_{fl} \qquad (11.2.2)$$

unde:

U_B - este tensiunea pe barele de c.c.

U_{fl} - tensiunea de floating (V/element) și trebuie să îndeplinească condiția:

$$\frac{U_{R\,min}}{U_E}\left(1+\frac{\Delta U_{max}}{100}\right) \le n \le \frac{U_{B\,max}}{U_{OC}}\left(1+\frac{\Delta U_{min}}{100}\right) \qquad (11.2.3)$$

unde:

U_{Rmin} - tensiunea minimă admisă la bornele receptoarelor, în V;

U_E - tensiunea minimă pe element (dar nu mai mică de 1,8 V/element pentru acumulatoare acide);

U_{Bmax} - tensiunea maximă pe bare c.c., în V;

U_{oc} - tensiunea de încărcare ocazională, în V/element;

ΔU - căderea de tensiune pe conductoarele de legătură, în %.

Regimul de exploatare a bateriilor de acumulatoare

Regimul poate fi:
- *tampon*, adică în paralel cu sursa de încărcare și receptoare (sarcina); în acest regim, bateria este menținută în

Tabelul II.11.5. Caracteristici specifice ale acumulatoarelor staționare

Specificație	U. M.	Acumulatoare acide cu plumb	Acumulatoare alcaline nichel-cadmiu
Capacitate nominală C_N la 20 °C	[Ah]	C_{10}	C_5
Curent nominal de descărcare I_N	[A]	$I_{10}=0{,}1 \times C_{10}$	$I_5=0{,}2 \times C_5$
Tensiune nominală finală de descărcare U_{EN} la 20 °C	[V/element]	1,80	1,0
Tensiune de încărcare în regim floating U_{fl}	[V/element]	2,23÷2,27	1,4
Tensiune de degajare gaze U_G	[V/element]	2,40	1,5
Randament	-	0.8	0,7
Densitate a electrolitului	[kg/dm^3]	1,22÷1,24±0,01	1,19±0,02
Rezistență internă R_i/element (valoare tipică)	[mΩ/100 Ah]	1,0÷3,0	0,6÷1,4
Capacitate de descărcare [1)]	-	L, H	L, M, H
Domeniu de temperatură aprobat		+5 °C la +55 °C	-20 °C la +45 °C

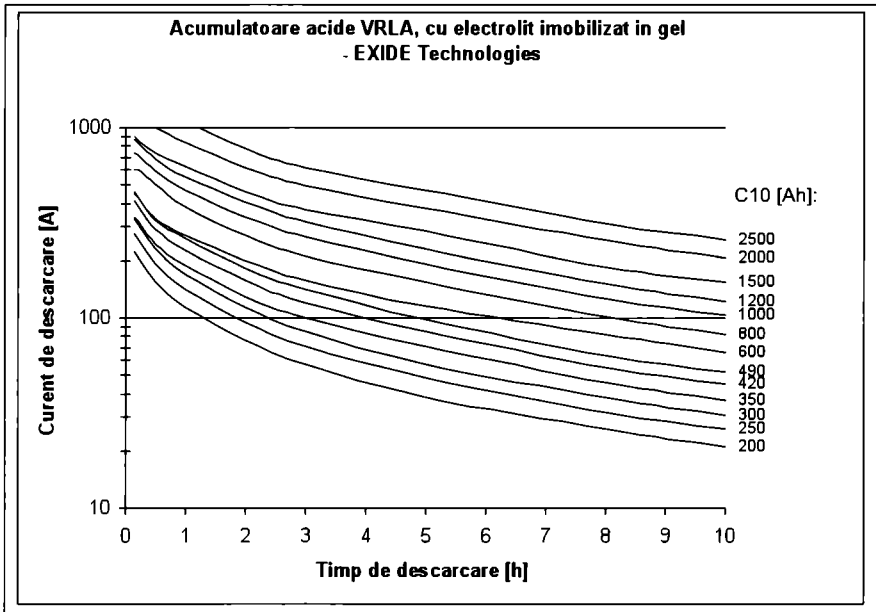


Fig. II.11.10. Caracteristici de descărcare pentru acumulatoare acide (U_E = 1,8 V/element).

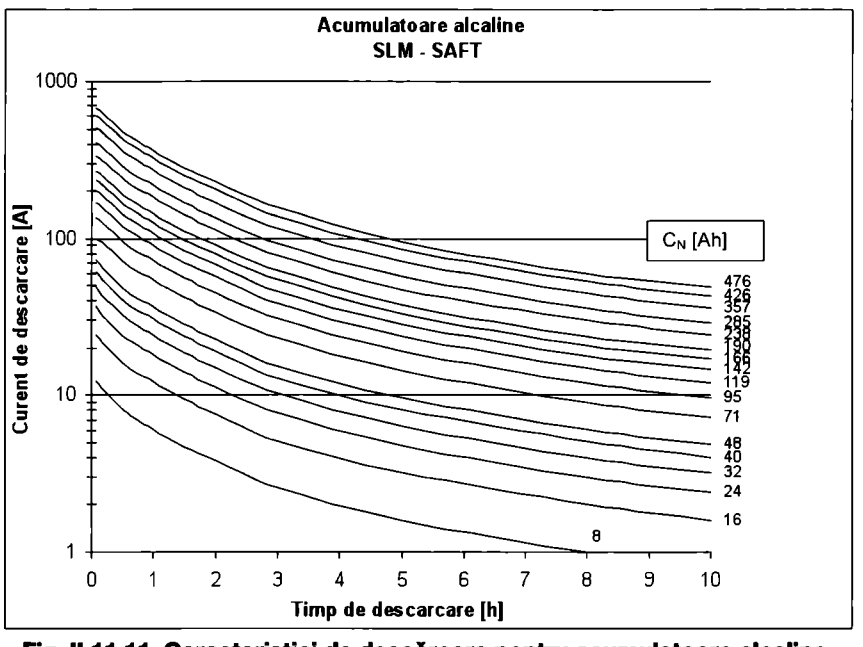


Fig. II.11.11. Caracteristici de descărcare pentru acumulatoare alcaline (U_E = 1,0 V/element).

permanență încărcată, consumul normal și compensarea autodescărcării bateriei fiind asigurate de sursa de încărcare;

- *floating*, adică în paralel cu sursa de încărcare și receptoare, cu deosebirea că sursa de încărcare este complet automatizată și menține tensiunea constantă în anumite limite impuse;
- *de încărcare - descărcare*, adică în paralel numai cu receptoarele (sarcina) în faza de descărcare;
- *de încărcare permanentă*, adică în paralel cu sursa de încărcare, dar fără sarcină.

Regimul de exploatare a bateriilor de acumulare de tip etanș este de tip floating. Aceste baterii nu necesită nici un fel de operații de întreținere corectivă, în timpul întregii durate de viață.

Încărcarea funcțională și de întreținere a bateriilor de acumulatoare se execută în exploatare:

- în mod permanent;
- periodic (încărcarea completă).

Încărcarea completă are loc în următoarele cazuri:

- încărcarea ocazională;
- încărcarea de egalizare.

Încărcarea ocazională se execută după descărcări pronunțate în funcționare și are ca scop refacerea capacității. Dacă nu sunt alte indicații ale firmei furnizoare de acumulatoare, tensiunea finală de încărcare pe element va fi:

- pentru acumulatoarele acide:
  - în regim tampon: 2,5...2,7 V/element;
  - în regim floating: 2,25...2,4 V/element;
- pentru acumulatoarele alcaline:
  - în regim tampon: 1,60... 1,75 V/element;
  - în regim floating: 1,45... 1,55 V/element.

Încărcarea de egalizare este operația specială care se aplică bateriilor la care se constată, după o anumită perioadă de exploatare, stări de încărcare diferite între elementele componente.

La încărcarea de egalizare, tensiunea finală pe element este:

- pentru acumulatoare acide: 2,75 V/element;
- pentru acumulatoare alcaline: 1,75 V/element.

Descărcări funcționale și de întreținere

Aceste descărcări pot avea loc în decursul exploatării:

a) periodic (descărcare normală și descărcare de întreținere);
b) ocazional (descărcare de avarie).

- *Descărcarea normală* se produce la bateriile aflate în exploatare (încărcare-descărcare).
- *Descărcarea de întreținere* este o descărcare forțată pe o sarcină controlată și este urmată de o încărcare completă. Pentru bateriile acide, descărcarea de întreținere se face până când tensiunea va fi de 1,93 V/element.
- *Descărcarea de avarie* se produce în timpul incidentelor care provoacă dispariția tensiunii la barele tabloului de curent alternativ, în cazul bateriilor funcționând în regim tampon sau floating. La acest tip de descărcare, tensiunea nu trebuie să scadă, pentru acumulatoarele acide, sub 1,8 V/element.

Surse de încărcare ale bateriilor de acumulatoare

Sunt redresoare statice cu stabilizare automată a tensiunii și limitare de curent, alese pe baza următoarelor considerente:

a) fiecare sursă asigură atât încărcarea permanentă a bateriei (în regim tampon, floating sau fără sarcină), cât și încărcarea ocazională și de egalizare;
b) fiecare sursă de încărcare dispune de reglare automată pentru tensiune și curent:
   - există două paliere de tensiune (U_c și U_{c1}) pentru încărcare permanentă, respectiv, pentru încărcare ocazională; pe fiecare palier, tensiunea se menține constantă în mod automat, în limite ±1%, la orice valoare a curentului sursei, mai mică sau

egală cu cea nominală;
- curentul sursei este automat limitat la valoarea nominală I_n.

Trecerea de la situația de încărcare permanentă la cea de încărcare ocazională și invers se face atât automat, cât și manual.

c) tensiunea nominală a sursei de încărcare, pe partea de curent alternativ, este 400 (380) sau 230 (220) V;
d) tensiunea nominală a sursei de încărcare, pe partea de curent continuu, corespunde celei a bateriei sau a secției de baterie alimentată;
e) curentul nominal, pe partea de curent continuu, se alege astfel încât să permită atât încărcarea bateriei, cât și alimentarea concomitentă a receptoarelor care funcționează în perioadele respective;
f) șocurile de curent, care iau naștere în timpul funcționării receptoarelor de scurtă durată, trebuie să fie suportate de redresor.

Racordarea redresorului la rețeaua de alimentare în curent alternativ trebuie să se facă printr-un transformator, în vederea izolării galvanice a rețelei de curent continuu față de cea de curent alternativ.

Alegerea surselor de încărcare

Curentul nominal In al redresorului se alege conform relației:

$$I_n=I_0+I_p \qquad (11.2.4)$$

în care:

I_0 - reprezintă valoarea curentului de încărcare la egalizare a bateriei (de 1...2 ori curentul de descărcare de 10 ore);

I_p - este consumul receptoarelor de lungă durată care sunt alimentate în paralel cu bateria în timpul încărcării acesteia.

Numărul surselor de încărcare

Fiecare baterie de acumulatoare dispune de propria sursă de încărcare. La consumatori importanți se prevăd surse de încărcare de rezervă, care pot fi:
- racordate la instalație;
- neracordate la instalație, dar existente la fața locului (la consumatorul respectiv).

Regimurile de exploatare a surselor de încărcare

Încărcarea poate fi:
- *permanentă* - tensiunea de pe partea de curent continuu trebuie să poată fi reglată voit într-un anumit domeniu de reglare, astfel încât să se asigure valorile prestabilite ținându-se seama și de pierderile de tensiune în conductoarele de legătură; la redresoarele cu reglare automată sunt compensate variațiile de tensiune cu ± 10 % și variațiile de frecvență de ± 1 din rețeaua de alimentare, iar la cele cu reglare manuală, aceste valori sunt reglate de către operator;
- ocazională - se utilizează, de regulă, una din următoarele metode, în funcție de tipul redresorului:
  - automatizate, încărcarea cu caracteristică combinată, curent constant -tensiune constantă (IU);
  - neautomatizate, încărcarea cu curent constant în trei sau două trepte;
- de egalizare - se face conform indicațiilor furnizorului de echipamente, dar întotdeauna cu reglare manuală a tensiunii.

Limita superioară a domeniului de reglare a tensiunii trebuie să permită reglarea acesteia la valoare prescrisă pe element, ținându-se seama și de pierderile de tensiune în conductoarele de legătură.

Aparataj de conectare și de protecție și căi de curent

Rețelele electrice de curent continuu sunt, de regulă cu ambele polarități izolate față de pământ (Schema IT).

Aparatele de conectare și protecție se montează obligatoriu pe ambele polarități ale fiecărui circuit.

Toate circuitele electrice trebuie protejate la scurtcircuit și suprasarcină prin întreruptoare automate sau siguranțe fuzibile. Se recomandă ca aparatul de conectare și protecție să fie bipolar. Protecția circuitelor se realizează astfel încât să asigure o selectivitate între protecțiile diferitelor elemente componente.

Căile de curent pentru alimentarea instalațiilor de distribuție principale se dimensionează pentru o putere egală cu puterea surselor de alimentare (redresoare, baterie etc).

Supravegherea funcționării instalației de servicii proprii de curent continuu

Se realizează prin aparate de măsură și semnalizare.

Măsurarea tensiunii se realizează:
- la bornele bateriei de acumulatoare;
- pe fiecare sistem de bare colectoare;
- la bornele sursei de încărcare.

Măsurarea curentului se realizează în:
- circuitul bateriei;
- circuitul fiecărei surse de încărcare;
- toate circuitele în care este necesar controlul sistematic al regimului de lucru.

Ampermetrele montate în circuitul bateriei vor avea gradația „0" la mijlocul scalei.

Se prevăd dispozitive pentru controlul permanent al prezenței tensiunii în următoarele puncte ale rețelei de curent continuu:
- pe barele colectoare generale;
- pe barele colectoare ale tablourilor de distribuție care alimentează receptoarele importante;
- în circuitele de alimentare a receptoarelor importante.

Controlul se face la capătul circuitului, cât mai aproape de receptor.

Rețelele de curent continuu se prevăd cu instalații pentru controlul izolației. La instalațiile care funcționează complet izolate față de pământ, acest control va consta din măsurarea rezistenței de izolație și semnalizarea optică și acustică a punerilor la pământ.

Instalarea acumulatoarelor și amenajarea spațiilor aferente

Bateriile de acumulatoare se instalează în spații special destinate acestui scop.

Acumulatoarele individuale și bateriile de acumulatoare pot fi instalate în încăperi de producție industrială, fără pericol de explozie, dacă elementele sunt de tip etanș. De asemenea, pot fi instalate și baterii cu elemente de tip închis, neetanșe, dacă este îndeplinită cel puțin una din următoarele condiții:
- încărcarea nu se face în încăperea respectivă;
- elementele sunt montate într-un dulap ventilat;
- camera este ventilată corespunzător, iar încărcarea acumulatoarelor se face fără depășirea tensiunii de degajare a gazelor.

Pe lângă fiecare cameră de acumulatoare se pot prevede următoarele anexe (fig. II.11.12):
- camera tampon;
- depozit de electrolit și apă distilată;
- camera instalațiilor electrice anexe (redresoare, tablouri de distribuție);
- camera instalațiilor de ventilare.

Prin folosirea acumulatoarelor VRLA, suprafața necesară pentru montarea bateriei se poate reduce cu cca 50 % față de cea necesară montării acumulatoarelor ne-etanșe.

Camerele acumulatoarelor trebuie să fie uscate și bine ventilate. Pereții, plafoanele, pardoselile trebuie să fie construite din materiale necombustibile, rezistente la umiditate și la electrolit. Plafoanele vor fi necompartimentate, pen-

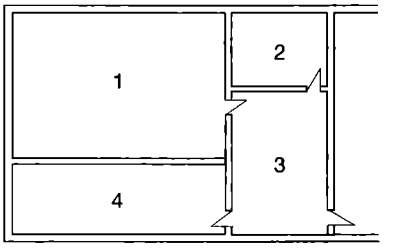


Fig. II. 11.12. Organizarea spațiilor aferente bateriei de acumulatoare:
1 - camera acumulatoarelor;
2- depozit de acid și apă distilată;
3 - cameră tampon; 4 - camera de ventilare.

Tabelul II.11.7. Valorile curentului de încărcare *I* pentru încărcare cu redresoare automate *IU* şi *U*

Specificaţie	Baterii acide neetanşe	Baterii acide etanşe (VRLA)	Baterii alcaline neetanşe
I_{fl} [mA/Ah] pentru calculul debitului de aer la U_{fl} [V/element]	5 2,23	1 2,27	5 1,40
I_{oc} [mA/Ah] pentru calculul debitului de aer la U_{oc} [V/element]	20 2,4	8 2,4	50 1,55

tru a nu favoriza acumularea de gaze.

Acumulatoarele se vor dispune, de regulă, pe un singur nivel sau în planuri succesive, montându-se pe pardoseală sau pe socluri.

Postamentele vor fi confecţionate din materiale rezistente la electrolit sau tratate corespunzător, dimensionate pentru a asigura protecţia antiseismică a bateriei. Între şirurile de acumulatoare şi pereţi trebuie să existe un spaţiu liber de minimum 50 mm pentru circulaţia aerului. Pentru fiecare şir de acumulatoare montate trebuie să existe un coridor de acces, cel puţin pe o parte. Lăţimea liberă a coridoarelor de acces trebuie să fie cel puţin de 1,5 ori adâncimea bateriei, dar nu mai puţin de 0,8 m.

Când există acumulatoare pe ambele părţi ale coridoarelor, se recomandă o lăţime liberă de cel puţin 1 m.

În interiorul camerelor de acumulatoare, conexiunile electrice la baterii vor fi realizate cu bare metalice rotunde neizolate ori cu conductoare izolate electric, cu materiale rezistente la umiditate şi la electrolit. În cazul acumulatoarelor acide cu plumb, conductoarele vor fi din cupru, iar al celor alcaline, din oţel sau din cupru placat cu nichel sau aliaje similare. Conductoarele neizolate se vopsesc cu lac rezistent la electrolit sau se ung cu vaselină. Trebuie asigurată o distanţă minimă de 1500 mm între părţile conductoare neizolate aflate sub tensiune ale unei baterii având tensiunea nominală mai mare de 120 Vc.c..

În zonele cu grad de seismicitate ridicat, se adoptă măsuri constructive care să împiedice răsturnarea sau spargerea vaselor de acumulatoare.

Încălzirea şi ventilarea camerelor de acumulatoare

Temperatura minimă în camerele de acumulatoare este de +10° C. Se admit temperaturi mai joase (până la minimum 0° C), cu condiţia dimensionării corespunzătoare a bateriei, ţinând seama de scăderea capacităţii în funcţie de temperatură.

Camerele de acumulatoare trebuie să fie ventilate, indiferent dacă bateriile se găsesc în încărcare, descărcare sau repaus.

Ventilarea se realizează pentru:
- diluarea amestecului de hidrogen în aer;
- diluarea şi evacuarea degajării de electrolit în aer (pentru acumulatoare neetanşe).

Debitul de aer necesar se calculează cu relaţia:

$$\dot{V} = 0{,}05 \cdot I \cdot n \cdot C_N \cdot 10^{-3} \quad [m^3/h] \qquad (11.2.5)$$

în care:

$\dot{V}$ - este debitul de aer;

I - curentul care străbate bateria [mA/Ah];

n - numărul de elemente.

C_N - capacitatea nominală [Ah] (C_{10} pentru acumulatoare acide şi C_5 pentru acumulatoare alcaline).

Valoarea curentului se alege în funcţie de regimul de încărcare, conform tabelului II.11.7.

Debitul necesar de aer proaspăt este preferabil să fie asigurat prin ventilaţie naturală, în caz contrar prin ventilaţie forţată.

Camera bateriei sau dulapul trebuie să aibă o fantă de admisie şi o fantă de evacuare a aerului, amplasate, de preferinţă, pe pereţi opuşi, la o distanţă pe verticală de minim 2m, având fiecare suprafaţa:

$$A = 28\ \dot{V} \qquad (11.2.6)$$

unde:

$\dot{V}$ - este debitul de aer, în m^3/h;

A - este aria fantei, în cm^2.

În cazul prevederii unei ventilări mecanice, trebuie să fie îndeplinite condiţiile următoare:
- să existe un sistem de blocare care să întrerupă automat încărcarea ocazională sau de egalizare, dacă nu funcţionează instalaţia de ventilare mecanică;
- ventilatoarele trebuie să fie dublate, instalaţia de rezervă intrând automat în funcţiune la oprirea instalaţiei de bază.

Funcţionarea instalaţiei de ventilare va fi semnalizată.

Instalaţia de ventilare mecanică se realizează:
- în depresiune, în camera acumulatoarelor şi în depozitul de electrolit;
- în suprapresiune, în camera tampon.

Dacă într-o încăpere se instalează mai multe baterii, necesarul pentru ventilarea acestora se însumează.

Măsuri specifice de securitate în muncă, de evitare a pericolului de explozie, de prevenire a incendiilor

Instalaţiile de curent continuu fac parte din categoria instalaţiilor de joasă tensiune.

Protecţia împotriva electrocutării este asigurată prin măsuri şi mijloace de protecţie la atingere directă, atingere indirectă sau atingere directă şi indirectă adoptate conform HD 384.4.41 şi particularizate în SR EN 50272-2. Încăperile pentru acumulatoare sunt considerate încăperi speciale pentru echipamente electrice, accesibile numai persoanelor autorizate.

La proiectarea instalaţiilor de curent continuu se respectă prevederile cuprinse în „Normele generale de protecţie împotriva incendiilor la proiectarea construcţiilor şi instalaţiilor" (P118).

Camerele de acumulatoare, camerele tampon şi camerele de ventilare pot fi încadrate în categoria „D" de pericol de incendiu, dacă sunt îndeplinite condiţiile:
- încărcarea ocazională se face cu o sursă automatizată, tensiunea de încărcare fiind limitată automat la o valoare care nu depăşeşte tensiunea de degajare a gazelor şi se renunţă la încărcările de egalizare;
- există un sistem de blocare care întrerupe automat încărcarea ocazională sau de egalizare, dacă nu funcţionează instalaţia de ventilare mecanică.

Când condiţiile de mai sus nu sunt îndeplinite, camerele de acumulatoare şi camerele tampon respective se încadrează în categoria „A" de pericol de incendiu. Celelalte încăperi se încadrează, întotdeauna, în categoria „D" de pericol de incendiu.

II. Instalații electrice

Capitolul 12

Instalații electrice în mediu exploziv și în mediu cu pericol de incendiu

12.1. Probleme generale

Proiectarea, executarea, verificarea și recepționarea instalațiilor în zone cu pericol de explozie se realizează pe baza următoarelor reglementări existente în România:

- SR EN 50014 - 1995 „Aparatură electrică pentru atmosfere potențial explozive - prescripții generale";
- CEI 79-14 *) „Installations electriques en atmospheres explosives gazeuses (autres que les mines);
- CEI 79-10 *) „Classification des emplacements dangereux";
- CEI 1241-1-2 *) „Materiels electriques destines a etre utilises en presence de poussieres combustibles. Partie 1 - Materiels electriques proteges par enveloppes Section 2: Selection, installation et entretien du materiel";
- STAS 9954/1-74 Instalații și echipamente electrice în zone cu pericol de explozie datorită gazelor și lichidelor inflamabile - Prescripții de proiectare și montare";
- I 20-2002 „Normativ privind protecția construcțiilor împotriva trăsnetului";
- ID 17 - 1986 „Normativ pentru proiectarea, executarea, verificarea și recepționarea instalațiilor în zone cu pericol de explozie".

România este membru afiliat la CENELEC (European Committee for Electrotehnical Standardisation) și al CEI (Commission Electrotechnique Internationale).

Se au în vedere instalațiile electrice care fac parte din domeniul de aplicare a publicației CEI 79-14, adică instalațiile electrice permanente ale construcțiilor precum și instalațiile electrice care pot fi considerate ca temporare (instalațiile experimentale, instalațiile prototip și instalațiile pilot).

Nu se au în vedere următoarele cazuri particulare:

- instalațiile electrice din minele grizutoase sau instalațiile electrice din spațiile în care pericolul provine de la substanțe explozibile;
- încăperile cu utilizări medicale;
- defecțiunile catastrofice care depășesc conceptul de normalitate (termenul de „defecțiune catastrofică", în acest context, se aplică, de exemplu, la ruperea unui vas de proces sau a unei conducte);
- efectele defecțiunilor consecutive;
- alte surse de aprindere decât cele care sunt asociate echipamentelor electrice.

Definițiile și termenii folosiți corespund standardului SR CEI 50 (426) „Vocabular electrotehnic internațional, Cap. 426: Aparatură electrică pentru atmosfere explozive".

*) Standarde preluate de IRS ca standarde românești.

Tabelul II.12.1. Clasele de temperatură ale aparatelor electrice din clasa II

Clasa de temperatură	Temperatura maximă a suprafețelor [°C]
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

12.2. Clasificarea ariilor periculoase

• Clasificarea conform CEI

Proiectarea, execuția și verificarea instalațiilor electrice în spațiile cu pericol de explozie se face în funcție de zonarea ariilor periculoase.

O atmosferă explozivă gazoasă este un amestec cu aerul, în condiții atmosferice, a substanțelor inflamabile sub formă de gaz, vapori sau ceață, în care, după aprindere, arderea se propagă în ansamblul amestecului neconsumat.

Pentru ariile cu atmosfere explozive gazoase clasificarea actuală distinge trei zone:

- zona 0, în care o atmosferă explozivă gazoasă este prezentă în permanență sau în cursul unor perioade lungi de timp;
- zona 1, în care este probabilă apariția unei atmosfere explozive gazoase în funcționare normală;
- zona 2, în care nu este probabilă apariția unei atmosfere explozive gazoase, în funcționare normală, și dacă ea apare, acest fapt se produce puțin frecvent și numai pentru o perioadă scurtă.

O atmosferă explozivă cu praf este un amestec cu aerul, în condiții atmosferice, a substanțelor inflamabile sub formă de praf sau fibre, în care, după aprindere, arderea se propagă în ansamblul amestecului neconsumat.

Pentru ariile cu atmosfere explozive cu praf clasificarea actuală distinge două zone:

- zona 21, în care praful combustibil sub formă de nor poate fi prezent în cantitate suficientă pentru a da în amestec cu aerul, la operațiile normale de funcționare, manevrare sau curățire, o concentrație explozivă de prafuri combustibile sau inflamabile;
- zona 22, în care norii de praf combustibil se pot produce rar și se mențin pe perioade scurte sau în care acumulările sau straturile de praf combustibil pot fi prezente și pot genera amestecuri inflamabile de prafuri în aer.

Grupele aparaturii și clasele de temperatură

Aparatura electrică pentru atmosfere explozive gazoase se împart în două grupe:

- grupa I - aparatură electrică pentru mine grizutoase;
- grupa II - aparatura electrică pentru locuri cu o atmosferă potențial explozivă, altele decât minele grizutoase.

Pentru tipurile de protecție prin capsulare antideflagrantă „d" și securitate intrinsecă „i", aparatura electrică din grupa II este subdivizată în IIA, IIB, IIC.

În funcție de temperatura maximă a suprafețelor, aparatura electrică din grupa II se clasifică așa cum se indică în tabelul II.12.1.

• Clasificarea conform NEC/NFPA

Având în vedere importata industriei nord americane se impune prezentarea clasificării zonelor periculoase conform NEC/NFPA (National Electrical Code / National Fire Protection Association) din SUA și conform CEC / CSA (Canadian Electrical Code / Canadian Standards Association) din Canada.

În cele două state nord americane spațiile periculoase sunt încadrate în trei clase, în funcție de tipul substanțelor inflamabile.

Clasa I:- gaze și vapori inflamabili;
Clasa II:- praf și pulberi inflamabile;
Clasa III:- lichide, fibre și solide.

Fiecare clasă este împărțită în funcție de nivelul de risc prezent, în 2 divizii:

Divizia 1: - pericolul poate fi prezent în funcționare normală, în timpul reparațiilor sau efectuării lucrărilor de întreținere;

Divizia 2: - materialul combustibil este prezent, dar este limitat în containere sau sisteme închise și spații adiacente celor din divizia 1.

Zonele periculoase din clasa I sunt împărțite în 4 grupe, în funcție de tipul gazelor sau vaporilor inflamabili:

Grupa A - atmosferă care conține acetilenă;
Grupa B - atmosferă care conține hidrogen;
Grupa C - atmosferă care conține etilenă, eter etilic;
Grupa D - atmosferă care conține acetonă, amoniac, benzen, butan, ciclopropan, etanol, gazolină, metan, gaz natural, propan.

Zonele periculoase din clasa II sunt împărțite în 3 grupe:

Grupa E - atmosferă care conține praf de metal combustibil (aluminiu, magneziu etc.);
Grupa F - atmosferă care conține praf de cărbune, cocs;

Grupa G - atmosferă care conține praf de cereale, făină, lemn, plastic sau produse chimice.

În funcție de temperatura maximă a suprafețelor aparatelor, clasele de temperatură sunt prezentate în tabelul II. 12.2.

Corespondența zonelor periculoase după normele nord americane și normele CEI/CENELEC este prezentată în tabelul II.12.3.

Corespondența claselor pentru aparatură electrică între normele nord americane și normele CEI/CENELEC sunt prezentate în tabelul II.12.4.

12.3. Alegerea echipamentelor electrice

Pentru alegerea echipamentelor electrice corespunzătoare spațiilor cu pericol de explozie, sunt necesare următoarele date:
- clasificarea spațiilor cu pericol de explozie;
- temperatura de aprindere a gazelor sau vaporilor respectivi;
- clasificarea gazelor și a vaporilor în legătură cu grupele sau subgrupele aparatelor electrice;
- influențe externe și temperatura ambiantă.

• *Echipamente electrice pentru zona 0*

trebuie să asigure un nivel de securitate deosebit de ridicat, ținând seama de natura specială a mediului incluzând factorii termici, mecanici, corosivi, electrici, chimici și electrostatici.

Conform prescripțiilor CEI 79-14, se pot utiliza numai echipamente electrice cu securitate intrinsecă de tip *„ia"* (instalate și marcate conform regulilor menționate în certificatele lor).

STAS 9954/1-74 admite montarea aparatului cu tipul de protecție *„i"*, fără a face mențiuni legate de tipul de protecție *„ia"* sau *„ib"*.

Tabelul II.12.2. Clasele de temperatură ale aparatelor electrice după NEC / NFPA și CEC / CSA

Clasa de temperatură	Temperatura maximă [°C]
T1	450
T2	300
T2A	280
T2B	260
T2C	230
T2D	215
T3	200
T3A	180
T3B	165
T3C	160
T4	135
T4A	120
T5	100
T6	85

Normativul I.D.17-1986 admite în zona 0 numai echipamentele electrice cu siguranță intrinsecă „Ex ia II".

• *Echipamente electrice pentru zona 1*

Și în cadrul zonei 1 sunt diferențe între diversele standarde.

Conform prescripțiilor CEI 79-14, se pot utiliza echipamente electrice construite conform unuia sau mai multor tipuri de protecție:
- siguranță intrinsecă *ia* sau *ib*;
- capsulare antideflagrantă *d*;
- capsulare presurizată *p*;
- siguranță mărită *e*;
- înglobare în nisip *q*;
- imersiune în ulei *o*;
- încapsulare *m*.

În zona 1, norma CEI 79-14 nu admite utilizarea lămpilor cu vapori de sodiu de joasă presiune, fiind admise numai cele de înaltă presiune.

Este de menționat faptul că standardul SR EN 50 014 / 95 admite utilizarea lămpilor cu sodiu de înaltă presiune în spațiile cu pericol de explozie (de exemplu, cele conforme cu EN 60662). Lămpile care conțin sodiu metalic în stare liberă (de exemplu, lămpile cu sodiu de joasă presiune) nu sunt permise în spațiile cu pericol de explozie din cauza riscului aprinderii provocate de sodiul liber de la o lampă spartă.

STAS 9954/1-74 admite utilizarea, în zona 1, a aparatajului și mașinilor electrice cu tipul de protecție *d*, *p* și *i*.

Standardul nu prevede utilizarea echipamentelor cu tipul de protecție *e* - siguranță mărită, iar normativul I.D. 17-1986 nu admite în zona 1 echipamentele electrice cu tipul de protecție *q* și *o*, ca și următoarele echipamente:
- motoare asincrone de j.t. cu rotorul în scurtcircuit, cu siguranță mărită *e*, deși admite motoarele de acest tip realizate pentru înaltă tensiune;
- transformatoare și autotransformatoare (uscate sau în ulei) - indiferent de tipul de protecție;
- condensatoare cu protecție *p*, *e* și *o*;
- corpuri de iluminat fixe cu lămpi cu incandescență, fluorescente sau cu vapori de mercur, cu protecție *e*;
- corpuri de iluminat cu vapori de sodiu, indiferent de tipul de protecție și fără a se face o diferențiere între cele de joasă presiune și cele de înaltă presiune;
- doze de conexiuni cu protecție *e* (în zona 1 se admit numai dozele metalice IP54 și numai pentru instalațiile de iluminat);
- aparate telefonice cu protecție *e*;
- termocupluri și termorezistențe cu protecție *e*.

• *Echipamente electrice pentru zona 2*

Publicația CEI 79-14 admite instalarea tuturor echipamentelor electrice executate conform regulilor aplicabile pentru zonele 0 și 1, precum și a echipamentelor electrice proiectate special pentru utilizarea în zona 2, cum ar fi de exemplu cele cu tipul de protecție *n* (tipul *n* este un tip de protecție aplicat unui aparat electric astfel încât, în funcționare normală, aparatul nu este capabil să aprindă o atmosferă explozivă înconjurătoare și un defect capabil să cauzeze o aprindere nu este posibil să se producă).

În zona 2, STAS 9954/1-74 și STAS 6877/1-86 admit utilizarea echipamentelor executate în următoarele tipuri de protecție:
- siguranță intrinsecă, *ia* sau *ib*;
- capsulare antideflagrantă *d*;
- capsulare presurizată *p*;
- siguranță mărită *e*;
- înglobare în nisip *q*;
- imersiune în ulei *o*.

Tabelul II.12.3. Corespondența zonelor periculoase după normele nord americane și normele CEI/CENELEC

	Pericol continuu	Pericol cu intermitență	Condiții anormale
SUA și Canada	Divizia 1 gaze și praf		Divizia 2 gaze și praf
CEI/CENELEC	Zona 0 Zona 21	Zona 1 Zona 21	Zona 2 Zona 22

Tabelul II.12.4. Corespondența claselor pentru aparatură electrică între normele nord americane și normele CEI / CENELEC

	Clasificarea aparaturii		Energia de aprindere
	CEI/CENELEC	SUA și Canada	
Metan	grupa I	clasa I, grupa D	
Acetilenă	grupa II, C	clasa I, grupa A	> 20 μJ
Hidrogen	grupa II, C	clasa I, grupa B	> 20 μJ
Etilenă	grupa II, B	clasa I, grupa C	> 60 μJ
Propan	grupa II, A	clasa I, grupa D	>180 μJ
Praf metalic		clasa II, grupa E	
Praf de cărbune		clasa II, grupa F	
Praf de cereale		clasa II, grupa G	
Fibre		clasa III	

Normativul I.D. 17-1986 admite aceleași echipamente cu tipurile de protecție prevăzute în STAS 6877/1-86. Acest normativ nu face referiri la echipamentele electrice cu tipul de protecție *s* și *n*, deși ultimele sunt special concepute pentru a fi utilizate în zona 2.

O situație aparte o constituie instalațiile frigorifice care utilizează amoniac și care nu sunt prevăzute în normele menționate mai sus. În aceste instalații, echipamentul electric este în execuție normală, cu excepția instalației de semnalizare de avarie și a iluminatului de siguranță care sunt în execuție antiexplozivă. La aceste instalații se prevede deconectarea circuitelor electrice de la unul sau mai multe întreruptoare instalate într-un loc sigur, comandate de unul sau mai multe butoane de oprire rapidă, situate imediat în exteriorul spațiului sau încăperii. Butoanele de oprire rapidă trebuie să fie protejate cu geam și amplasate în exteriorul încăperilor (conform STAS 6987-82).

• *Echipamente electrice pentru zona 21 și zona 22* cu praf conductor

Pentru echipamentul electric ce se montează în aceste zone se cer următoarele condiții, conform CEI 1241-1-2:

a - total protejat împotriva prafului (IP6X), cu următorul marcaj:
  - DIP A21 pentru aparatele verificate conform practicii *A*;
  - DIP B21 pentru apratele verificate conform practicii *B*;

b - temperatura maximă de suprafață a aparatului nu trebuie să depășească două treimi din temperatura de aprindere (exprimată în grade Celsius) a amestecului praf/aer considerat (T_{Cl}): $T_{max} = 2/3\ T_{Cl}$;

c - temperatura maximă de suprafață a aparaturii (T_{max}), când este încercată prin metodă „fără praf" (conform practicii *A*), nu trebuie să depășească o valoare cu 75 K inferioară temperaturii minime de aprindere pentru o grosime de strat de 5 mm a prafului respectiv ($T_{5\ mm}$):
$T_{max} = T_{5\ mm} - 75$ K;

d - temperatura maximă de suprafață a aparaturii (T_{max}), când este încercată prin metoda „cu înveliș praf" (conform practicii *B*), nu trebuie să depășească o valoare cu 25 K inferioară temperaturii minime de aprindere pentru o grosime de strat de 12,5 mm a prafului respectiv ($T_{12.5\ mm}$):
$T_{max} = T_{12.5\ mm} - 25$ K.

• *Echipamente electrice pentru zona 22*

Pentru echipamentul electric ce se montează în această zonă, condițiile, conform CEI 1241-1-2, sunt următoarele:

a - protejat împotriva prafului (IP5X), cu următorul marcaj:
  - DIP A22 sau DIP A21 pentru aparatele verificate conform practicii „A";
  - DIP B22 sau DIP B21 pentru aparatele verificate conform practicii „B";

b - temperaturile maxime de suprafață ale aparatului nu trebuie să depășească valorile indicate mai sus, pentru zona 21 și zona 22 cu praf conductor, la punctele b, c și d;

Observație: se recomandă ca planul de zonare (cu clasificarea și extinderea ariilor periculoase) să cuprindă tipul de zonă și grosimea stratului, dacă ea este mai mare de 5 mm pentru practica „A" sau dacă este mai mare de 12,5 mm pentru practica „B".

12.4. Montarea cablurilor electrice

12.4.1. Sisteme de instalare

Proiectarea sistemului de cabluri electrice și a părților lui constitutive trebuie să se facă pe baza caracteristicilor spațiului cu pericol de explozie, incluzând factorii mecanici, chimici și termici.

Echipamentele electrice pentru spațiile cu pericol de explozie sunt realizate pentru 3 sisteme de bază de instalare:
- în țeavă;
- în cabluri cu intrare directă;
- în cabluri cu intrare indirectă.

Aceste 3 sisteme trebuie comparate din punctul de vedere al gradului lor de siguranță și din cel al aspectului economic.

Cerințele de instalare nu sunt identice în diversele țări europene și în SUA.

Standardul SR EN 50014 admite toate cele 3 sisteme de realizare a instalațiilor electrice.

STAS 9954/1-74 admite, de asemenea, toate cele 3 sisteme de realizare a instalațiilor electrice. Numai compartimentele terminale trebuie să fie realizate conform standardului specific pentru tipul de protecție a echipamentului considerat.

Norma CEI 79-14 admite cele 3 sisteme de realizare a instalațiilor electrice precum și sisteme mixte. Un sistem mixt este o instalație electrică care cuprinde echipamente electrice sau capsulări special concepute pentru racordarea conductoarelor instalate în țevi de protecție, dar racordate prin cabluri.

Un adaptor antideflagrant prevăzut cu izolatori de trecere și cutie terminală poate fi conectat la intrarea pentru țeava de protecție a carcasei prin intermediul unei țevi de protecție a cărei lungime nu depășește 150 mm. Capsulările antideflagrante trebuie să aibă cel puțin 5 filete complet angajate. Cablul este racordat la cutia de borne conform prevederilor tipului de protecție a cutiei.

În Italia, în zona 1, se poate utiliza numai sistemul de instalare în țeavă.

În Germania și în multe țări influențate de tehnologia VDE, până la apariția noului standard VDE 0165/6.80, era admis numai sistemul de instalare în cablu cu intrare indirectă, prin compartiment terminal realizat cu tipul de protecție „siguranță mărită". În acest compartiment terminal, cablul este introdus printr-o presgarnitură obișnuită care are gradul de protecție mecanică IP 54. Cablul trebuie conectat la terminale realizate cu tipul de protecție siguranță mărită. Legătura între compartimentul terminal care este cu siguranță mărită și carcasa echipamentului electric realizată cu tipul de protecție capsulare antideflagrantă se face cu conductoare unifilare, prin intermediul unor piese de trecere etanșe. Piesele de trecere etanșe sunt fixate de producătorul echipamentului și sunt verificate la închiderea carcasei cu protecție capsulare antideflagrantă. Executantul lucrării de instalare are voie să deschidă numai compartimentul terminal cu siguranță mărită. El nu are voie să deschidă și capsularea antideflagrantă.

Tehnologia britanică admite intrarea directă a cablurilor în capsularea antideflagrantă. De exemplu, la întreruptoarele de comandă executate cu tipul de protecție capsulare antideflagrantă, cablurile de legătură sunt introduse direct în carcasa întreruptorului. Totuși, la întreruptoarele cu mare putere de rupere se impune un compartiment terminal separat care este realizat, și el, cu tipul de protecție capsulare antideflagrantă. Cablul este adus din exterior în compartimentul terminal antideflagrant și nu în camera antideflagrantă a echipamentului care conține aparate capabile de a produce scântei în funcționarea normală. Pentru introducerea cablurilor în camera terminală, specială antideflagrantă, se folosesc intrări de cablu cu garnituri de etanșare din neopren. Intrarea de cablu este aleasă în concordanță cu tipul cablului și locul în care se utilizează instalația.

Anumite tipuri de cabluri folosesc materiale care pot manifesta o caracteristică de „curgere rece" („cold flow"), care poate avea efecte negative privind protecția aparatului. Acolo unde se utilizează astfel de cabluri, trebuie să se folosească dispozitive de intrare corespunzătoare, așa cum sunt intrările de cabluri omologate care nu folosesc etanșările de compresiune. Legătura între compartimentul terminal antideflagrant și camera antideflagrantă, care conține aparatele, se realizează la fel cu

cea prezentată la tehnologia germană.

Utilizând tehnologia franceză, este posibil de a intra în capsularea antideflagrantă ce conține aparate capabile să producă scântei în funcționarea normală, direct, în orice situație. Etanșarea intrării de cablu este mai pretențioasă decât una utilizată de tehnologia britanică și compensează mai bine diferențele de diametre ale cablurilor.

În SUA, pentru toate aplicațiile în clasa I, divizia 1, NEC 501-4 (National Electrical Code), sunt permise numai sistemul în țeavă sau cel în cabluri cu izolație minerală, aceste cabluri fiind utilizate, în principal, drept cabluri de semnalizare sau de comandă în spațiile corespunzătoare. În divizia 2 este admisă utilizarea anumitor tipuri de cabluri.

Luând în considerare mărimea pieței americane și a celei influențate de standardele SUA, se poate spune că cea mai mare parte a instalațiilor protejate la explozie sunt executate în țeavă. În acest sistem, conductele electrice și cablurile unipolare sunt introduse în țevi din metal. Întregul sistem de conducte este în construcție antideflagrantă și se etanșează în punctele de intrare a țevilor în carcase. Etanșarea este necesară pentru a se preveni transmiterea prin conducte a scânteilor și gazelor fierbinți produse de o explozie internă în timpul funcționării normale.

Etanșările se execută în sistemul de conducte, la anumite distanțe, în funcție de diametrul conductelor.

12.4.2. Tipuri de cabluri utilizate în spații cu pericol de explozie

CEI 79-14 admite utilizarea aluminiului numai dacă secțiunea minimă este de cel puțin 16 mm^2, fără a se face deosebiri între secțiunea conductelor montate în țevi de protecție și a cablurilor.

STAS 9954/1-74 admite conductoare din aluminiu cu secțiunea minimă de 4 mm^2 montate în țevi de oțel precum și cabluri cu conductoare din aluminiu cu secțiunea minimă de 16 mm^2.

Normativul I.D. 17-1986 admite, de asemenea, conductoare din aluminiu cu secțiunea minimă de 4 mm^2 montate în țevi din oțel precum și cabluri cu conductoare din aluminiu a căror secțiune minimă este însă de 25 mm^2.

• Cabluri pentru zona 0

CEI 79-14 precizează că circuitele cu securitate intrinsecă se realizează conform standardului specific acestui tip de protecție.

STAS 9954 / 1-74 nu face referiri la conductoarele și cablurile utilizate în zona 0.

Normativul I.D. 17-1986 precizează că circuitele cu siguranță intrinsecă se realizează conform prevederilor standardului specific acestui tip de protecție.

• Cabluri pentru zonele 1 și 2

CEI 79 -14 nu face diferențieri între zonele 1 și 2 privind utilizarea cablurilor armate și nearmate.

Pentru instalații fixe se pot utiliza cabluri cu manta termoplastică, cu manta din material plastic termorigid, cu manta din elastomeri sau cu izolație minerală și manta metalică.

Pentru echipamente portabile sau transportabile se vor folosi cabluri cu manta din policloropren execuție grea sau alt elastomer echivalent, cabluri cu manta din cauciuc execuție grea sau cabluri cu construcție robustă echivalentă. Conductoarele vor avea secțiunea minimă de 1 mm^2. Conductorul de protecție va fi izolat în mod similar cu conductoarele active și va fi încorporat în aceeași manta cu cablul de alimentare.

Cablurile pentru instalațiile fixe vor avea caracteristici corespunzătoare pentru a rezista la propagarea flăcării.

Echipamentele electrice mobile, la care curentul nominal nu depășește 6 A, destinate să fie utilizate la tensiuni care nu depășesc 250 V în raport cu pământul, pot fi alimentate cu cabluri cu manta din cauciuc, polichloropren sau dintr-un elastomer echivalent, execuție mijlocie, sau să fie de o construcție robustă echivalentă. Aceste cabluri nu sunt admise pentru echipamentele electrice mobile sau transportabile expuse la solicitări mecanice mari.

STAS 9954/1-74 admite în zona 1 următoarele tipuri de cabluri omologate pentru utilizarea în aceste zone:
- cabluri armate cu izolație din hârtie, cauciuc sau material termoplastic, cu manta din plumb (ex: CYPAbY, ACYPAbY);
- cabluri armate cu izolație din cauciuc sau material termoplasttic (ex: CYAbY, ACYAbY, NYFGbY);
- cabluri cu nul concentric de 1 kV (ex: CYCY, ACYCY, CYCoY, ACYCoY);
- cabluri cu izolație minerală, cu manta din cupru.

Pentru zona 2, STAS 9954/1-74 admite și folosirea cablurilor nearmate, dar care sunt omologate pentru zona 2.

Normativul I.D. 17-1986 prevede pentru zona 1 folosirea cablurilor armate, cu izolație din PVC sau hârtie. Cablurile flexibile sunt admise numai pentru alimentarea macaralelor, podurilor rulante și a lămpilor portabile.

Pentru instalațiile în zona 2, normativul I.D. 17-1986 admite utilizarea și a cablurilor nearmate.

• Cabluri pentru zonele 21 și 22

Tipurile de cabluri care pot fi utilizate în zona 21 și 22 sunt:
- cabluri în tuburi de protecție înșurubate sau cu racorduri sudate;
- cabluri care, constructiv, sunt corespunzător protejate împotriva deteriorărilor mecanice și care sunt etanșe la praf;

Exemple de cabluri care satisfac aceste specificații:
- cabluri cu izolant termoplastic sau elastomer armate, cu manta din PVC, PCP sau echivalent;
- cabluri cu manta continuă din aluminiu, cu sau fără armătură;
- cabluri cu izolație minerală cu înveliș metalic;

- cabluri protejate împotriva deteriorărilor mecanice sau instalate unde nu există riscul de deteriorare mecanică, cu izolant termoplastic sau elastomer, cu manta din PVC, PCP sau echivalent.

Este recomandabil să se prevadă treceri ale cablurilor astfel încât acestea să nu fie expuse la efecte de frecare și de formare a electricității statice în urma trecerii prafurilor. Trebuie luate precauții pentru a împiedica acumularea de electricitate statică pe suprafața cablurilor. De asemenea, trecerile de cabluri trebuie prevăzute cu acces pentru curățire, astfel ca depunerile de praf să poată fi înlăturate.

În măsura posibilului, cablurile care nu sunt asociate zonelor periculoase, se recomandă să nu traverseze aceste zone. Dacă traversarea este inevitabilă, cablurile trebuie să îndeplinească condițiile impuse de zonele periculoase.

În locurile în care cablurile traversează o pardoseală, un perete, o îngrăditurâ sau un plafon care formează o barieră pentru praf, este bine să se prevadă orificii de trecere care să oprească acumularea prafurilor combustibile.

• Intrări de cablu

Norma CEI 79-14 face următoarele precizări:

- la echipamentele cu protecție *d* se poate utiliza un dispozitiv de intrare cu inel de etanșare dacă:
  - capsularea nu conține surse interne de aprindere;
  - echipamentele Ex fac parte din subgrupa II A sau II B și sunt montate în zona 2 sau în zona 1, dar volumul capsulării este mai mic de 2 dm^3;

În celelalte situații se vor utiliza fie un dispozitiv de etanșare antideflagrant (cutie de stopare sau cameră de etanșare) care conține compound sau alt material de etanșare a conductoarelor individuale, fie o intrare de cablu antideflagrantă cu compound de umplere;
- la echipamentele cu protecție *e*, co-

nectarea cablurilor se efectuează prin intrări de cablu corespunzătoare tipului utilizat și care conțin componente de etanșare pentru a se realiza un grad de protecție de cel puțin IP54 între cablu și capsulare;
- la echipamentele cu protecție *i* se vor utiliza numai cabluri izolate, cu tensiunea de încercare conductor-pământ, conductor-ecran și ecran - pământ de cel puțin 500 V c.a.

STAS 9954/1-74 prevede ca la intrarea cablului în cutia de borne a motorului sau a aparatului să se execute etanșarea pe cablu (la un grad de protecție de cel puțin IP 54).

Normativul I.D. 17-1986 cere o etanșare corespunzătoare gradului de protecție a cutiei respective la intrarea cablurilor în cutia de borne a motoarelor sau aparatelor sau în cutia de conexiuni.

Norma CEI 1241-1-2 face următoarele precizări:
- la echipamentele protejate împotriva prafului, pentru racorduri la aparate fixe care pot fi uneori deplasate pe distanțe mici (de exemplu, motoare pe glisiere) este bine să se prevadă cabluri care să permită mișcarea necesară fără deteriorare sau se poate folosi un tip de cablu prevăzut pentru aparate transportabile. Acolo unde cablajul fix nu este de un tip care să permită mișcarea necesară, trebuie prevăzute cofrete de racord protejate convenabil pentru racordul între cablajul fix și cablajul către aparat. Dacă se folosesc tuburi metalice flexibile, acestea trebuie să fie etanșe la praf și folosirea lor nu trebuie să afecteze caracteristicile capsulării aparatului respectiv precum și să evite deteriorarea cablului;
- tuburile metalice flexibile trebuie să asigure o continuitate electrică corespunzătoare, însă aceasta nu trebuie să constituie singurul mijloc de legare la pământ;
- atunci când se folosesc sisteme de conducte metalice sau plastice, acestea trebuie să fie etanșe la praf iar îmbinările se vor executa cu garnituri, prin înșurubare, prin îmbucare sau cu bridă. Îmbinările prin înșurubare trebuie să aibă angajate cel puțin 5 filete cilindrice sau 3 filete conice.

12.5. Instalația de paratrăsnet

Construcțiile și instalațiile tehnologice exterioare în care se utilizează, prelucrează, manipulează sau se depozitează substanțe care pot forma cu aerul amestecuri explozive se prevăd, obligatoriu, cu o protecție întărită împotriva trăsnetului.

Se consideră autoprotejate și nu se prevăd cu instalații de captare următoarele utilaje și instalații tehnologice:
- rezervoarele metalice cu capac metalic în următoarele condiții:
  - corpul și capacul sunt din tablă din oțel cu o grosime minimă de 5 mm;
  - este realizată o legătură electrică sigură între capac și corpul rezervorului legat la pământ;
  - toate conductele racordate la rezervor sunt legate electric la acesta în punctul de intrare;
  - sunt etanșe sau sunt prevăzute cu supape de respirație și dispozitive opritoare de flacără;
- conductele din oțel care au grosimea pereților de minim 5 mm.

Elemente de captare - pentru realizarea unei protecții întărite se folosesc dispozitive, respectând dimensiunile H_{max} și A_{max} prezentate în tabelul II. 12.5., unde: - H_{max} este înălțimea maximă față de pământ a celui mai înalt punct al dispozitivului de captare; - A_{max} este distanța maximă între suporții de susținere ai dispozitivelor de captare.

Limita zonei protejate pe dispozitivul de captare se poate stabili, în funcție de înălțimea H_{max} față de pământ a celui mai înalt punct al dispozitivului de captare, prin următoarele două metode:
- metoda unghiului de protecție α față de verticală a zonei de protecție;
- metoda sferei rotative fictive *R*.

Pentru protecția întărită, limita zonei protejate este prezentată în tabelul II.12.6.

Elemente de coborâre - o instalație de paratrăsnet trebuie să aibă cel puțin 4 coborâri. Se prevede câte un conductor de coborâre la fiecare 10 m de perimetru de acoperiș. Se prevăd numai 2 coborâri la construcțiile care au cel mult 10 m lungime și cel mult 6 m lățime.

Priza de pământ - rezistența de dispersie a prizei de pământ, în cazul în care este folosită exclusiv pentru instalația de paratrăsnet, trebuie să aibă cel puțin valorile din tabelul II.12.7.

Legarea la pământ - toate rezervoarele, cu excepția celor subterane, se leagă la pământ cu un număr stabilit de legături în funcție de diametrul sau lungimea acestora după cum urmează:
- o legătură - până la 2 m;
- 2 legături - peste 2 m, până la 10 m;
- 3 legături - peste 10 m, până la 20 m;
- 4 legături - peste 20 m.

Conductele din oțel pentru transportul fluidelor combustibile care au grosimea pereților de minimum 5 mm, instalate la înălțimi mai mari de 4 m de la sol, se consideră autoprotejate împotriva loviturilor de trăsnet. Aceste conducte se leagă la prize de pământ cu rezistența de dispersie de maximum 20 ohmi, la fiecare 20...30 m lungime de traseu. În situația în care astfel de conducte sunt montate la înălțimi mai mici de 4 m de la sol, ele se leagă la prize cu rezistența de dispersie de maximum 30 ohmi, la fiecare 200...300 m lungime de traseu, pentru protecția împotriva efectelor secundare ale trăsnetului.

Tabelul II.12.5. Dimensiunile maxime pentru elementele de captare

Tipul dispozitivului de captare	H_{max} [m]	A_{max} [m]
- o tijă de captare	20	-
- două tije de captare	20	20
- patru tije de captare dispuse în pătrat	20	20
- un conductor de captare	20	-
- două sau mai multe conductoare de captare și rețea de captare	nu se limitează	-

Tabelul II.12.6. Limita zonei protejate pentru protecția întărită

Înălțimea H_{max} [m]	10	20	30
- unghiul α [grad]	45	30	*)
- ochiurile reței de captare [m]	10x10	10x10	10x10**)
- raza R [m]	35	35	35**)

Notă: (*) - se folosește numai metoda sferei fictive;
(**) - pentru situații cu risc deosebit de ridicat se poate folosi rețea cu ochiuri de 5x5 m și sfera cu R = 20 m.

Tabelul II.12.7. Valoarea rezistenței prizei de pământ [Ω]

Instalația de paratrăsnet / Tipul prizei	montată pe construcție	independentă
- naturală	2,5	5
- artificială	5	10

12.6. Măsuri de protecție împotriva electricității statice

În vederea evitării formării de sarcini electrostatice se vor lua măsuri tehnologice și constructive precum:
- ionizarea aerului în interiorul utilajelor, rezervoarelor;

- umezirea aerului în locurile periculoase.

Pentru îndepărtarea sarcinilor electrostatice se vor lega la pământ toate utilajele, conductele și rezervoarele care ar putea acumula electricitate statică.

Rezervoarele metalice se vor lega cu obiectele metalice de pe sol sau subterane și cu instalațiile de paratrăsnet ale construcțiilor vecine care se află în jurul rezervorului la o distanță mai mică de 30 m.

Toate conductele care intră sau ies din instalație și cele care fac legătura între utilaje trebuie legate pentru a forma un circuit electric neîntrerupt. Pentru a se preîntâmpina producerea de scântei se vor realiza punți de conexiune între toate conductele care se află la o distanță mai mică de 10 cm. La traseele de conducte paralele conexiunile se execută la intervale de 20 cm.

Conductele montate pe estacade trebuie legate la pământ la capete precum și la fiecare 200...300 m de traseu.

La rezervoarele metalice, capacul plutitor se va lega prin conductoare flexibile la mantaua rezervorului. În cazul în care mantaua rezervorului este realizată din material slab conducător, legătura capacului se va face la pământ prin exteriorul rezervorului.

Rezistența prizei de pământ, folosită exclusiv pentru descărcarea electricității statice, va fi de maximum 100 ohmi. Rezistența de contact între flanșe nu trebuie să depășească 0,03 ohmi.

Nu se admite utilizarea conductelor pentru transportul lichidelor și gazelor inflamabile ca prize de legare la pământ.

Legarea la pământ a instalațiilor din zonele de pericol de explozie

Legarea la pământ este o măsură de protecție împotriva:

- tensiunii de atingere, care se execută conform prevederilor generale (fără cerințe suplimentare în zonele cu pericol de explozie);
- loviturilor de trăsnet (a se vedea precizările de la punctul 12.5);
- electricității statice (a se vedea precizările de la punctul 12.6).

În rețelele electrice cu neutrul izolat, la utilizarea protecției prin legarea la pământ, trebuie să se asigure un control automat al izolației rețelei. La scăderea rezistenței de izolație, sub limita admisă, rețeaua respectivă se va deconecta automat.

II. Instalații electrice

Capitolul 13

Tehnologia executării instalațiilor electrice

Soluțiile tehnologice pentru realizarea instalațiilor electrice trebuie să corespundă cel puțin următoarelor cerințe:
- minime de calitate, prevăzute în normele naționale și internaționale;
- de calitate explicite și implicite ale clienților;
- de economicitate;
- privind durata de realizare a lucrărilor.

Diversitatea actuală a materialelor, a aparatelor și accesoriilor componente ale instalațiilor electrice conduce la un ansamblu deosebit de vast de metode și procedee pentru montarea acestora. Soluțiile sunt în același timp în permanentă evoluției determinată, atât de evoluția tehnologiilor de fabricație și a caracteristicilor tehnice ale componentelor instalațiilor, cât și de acumularea experienței în exploatare, feedback-ul mentenanței fiind hotărâtor din acest punct de vedere.

13.1. Soluții tehnologice pentru montarea cablurilor și conductelor

Conductoarele electrice se realizează, de obicei, din cupru, aluminiu sau oțel. În instalațiile electrice de joasă tensiune, materialul cel mai utilizat pentru conductoare este cuprul, datorită priorităților electrice și mecanice superioare aluminiului și oțelului. Utilizarea aluminiului se poate recomanda datorită costului mai mic, pentru secțiuni relativ mai mari ale conductoarelor, pentru trasee ale circuitelor nesupuse la solicitări mecanice (deplasări, vibrații ș.a.) și în lipsa unei cerințe deosebite (explicite sau implicite) de fiabilitate.

Utilizarea oțelului este limitată la situații speciale, cum ar fi, liniile de contact ale unor poduri rulante, electrozi pentru prize de pământ (tip țeavă sau bandă) etc.

Conductoarele pot fi izolate sau neizolate electric.

Cablul electric este un ansamblu de conductoare electrice izolate, distincte, protejate din fabricație într-un înveliș izolant din punct de vedere electric, și protector, din punct de vedere mecanic. În instalațiile de telecomunicații și transmisii de date se folosesc și cabluri speciale din fibre optice.

Conductoarele neizolate se utilizează în aplicații specifice ca: linii de contact, legături în tablouri și în posturi de transformare, pentru alimentarea cuptoarelor electrice, în distribuții de energie din industrie, în instalațiile de electroliză, săli de acumulatoare, în instalațiile de legare la priza de pământ. Utilizarea conductoarelor neizolate este interzisă în clădiri de locuit, sedii administrative, localuri publice, încăperi cu pericol de incendiu sau explozie.

Conductoarele neizolate sunt realizate, de regulă, sub formă de bare cu secțiune dreptunghiulară sau circulară (bare rotunde). În cazul liniilor de contact se folosesc secțiuni adecvate culegătoarelor de curent.

Pentru lungimi de peste 20 m este necesară intercalarea, în circuitul barelor, a unor compensatoare flexibile de dilatare realizate din bare dreptunghiulare sau conducte rotunde flexibile (în cazul barelor dreptunghiulare se recomandă să se realizeze un ansamblu de bare de secțiuni reduse). Dimensiunile și numărul compensatoarelor se stabilesc în funcție de secțiunea și lungimea circuitului de bare și a sistemului de fixare a barelor.

În cazul liniilor de contact, compensatoarele se realizează prin secționarea și joncționarea cu conductoare rotunde flexibile, astfel încât să nu fie afectată zona de contact.

În toate cazurile trebuie luată în considerare alungirea barelor determinată cu relația:

$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T$ [mm]

în care:

l - lungimea barelor [m];

α - coeficientul de dilatare [mm/m·K] (0,017 pentru cupru; 0,023 pentru aluminiu; 0,012 pentru oțel);

ΔT - diferența maximă de temperatură [K].

Cele mai uzuale materiale electroizolante utilizate pentru izolarea cablurilor și conductoarelor electrice au principalele caracteristici prezentate în tabelul II.13.1 (pag. 294).

Pentru diferite grupe de cabluri se folosesc atât standarde de tip STAS cât și standarde de tip SR - CEI, CEI - IEC, VDE, NFC 15 - 100, codul armonizat CENELEC ș.a., în funcție de producători. Pentru echivalarea cablurilor și conductoarelor produse de diferite firme este necesară cunoașterea simbolizării acestora pe baza codurilor din standardele conform cărora sunt produse.

Cablul electric de forță din fig. II.13.1 este fabricat după standardul german VDE 0271 conform căruia este simbolizat NAYY-J cu semnificațiile următoare:

N - standard VDE,

A - conductor din aluminiu;

Y - izolație din PVC;

J - prevăzut cu conductor galben-verde pentru legare la pământ.

Are corespondență în standardul CEI - IEC 502.

Cablul electric multifilar, fără halogen din fig. II 13.2 este fabricat după standardul german VDE 0250 conform căruia este simbolizat (N) HXSLHXOE. Nu are corespondență în alte standarde folosite uzual.

Cablul electric fabricat după standarde românești și simbolizat MYYM, cu semnificațiile simbolurilor:

M - (la început) cablu pentru instalații mobile (flexibil);

Y - izolație din PVC;

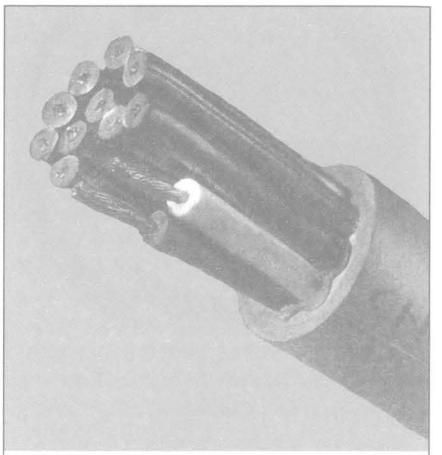


Fig. II.13.1. Cablu electric multifilar pentru comandă și semnalizare, fără halogen.

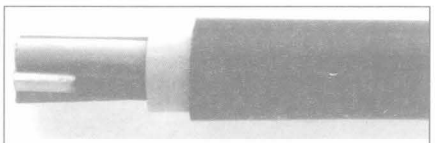


Fig. II.13.2. Cablu electric de energie (forță).

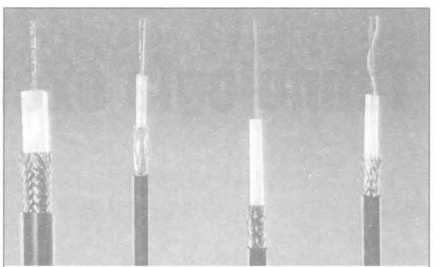


Fig. II.13.3. Cabluri electrice coaxiale pentru înaltă frecvență.

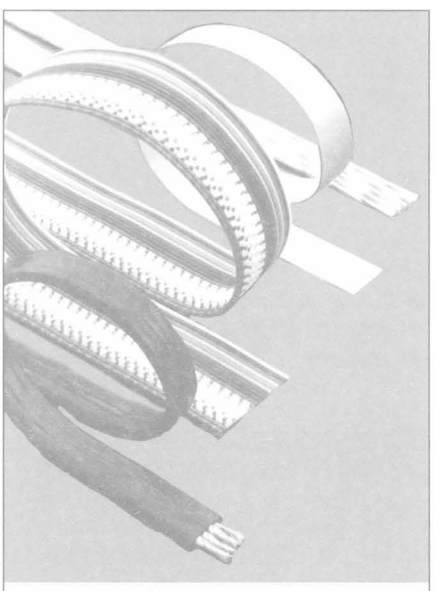


Fig. II.13.4. Cabluri electrice plate și tip panglică.

M - execuție mijlocie (alternative
U - execuție ușoară și
G - execuție grea).

Simbolul MYYM poate fi asimilat cu simbolul din codul CENELEC (Comitetul European de Normalizare în domeniul Electric) H05VV - *F* în care simbolurile au semnificațiile:
H - armonizat (cod CENELEC);
05V - tensiunea nominal 300 / 500 V;
V - izolație din PVC;
F - conductoare suple (lițate).

Conductorul electric fabricat după standardul românesc SR - CEI - 227 / 3 - 97 și simbolizat FY cu semnificațiile simbolurilor:
F - conductor pentru instalații fixe;
Y - izolație din PVC.

Simbolul FY poate fi asimilat cu simbolul CENELEC H07V-U cu semnificațiile:
H - armonizat;
07 - tensiunea nominală 450/750 V;
V - izolație din PVC;
U - conductor cu secțiune circulară, masiv.

Codurile CENELEC de mai sus corespund cu codurile CEI - IEC 227 IEC 53 (H05VV-F) și 227 IEC 01 (H07-U) conform publicației CEI - IEC 227 / 3 - 93.

Pentru cele mai multe situații este necesar ca echivalările să se facă pe baza analizei caracteristicilor tehnice ale cablurilor și conductoarelor.

După destinație și caracteristici constructive se utilizează o mare diversitate de grupe de cabluri și conductoare dintre care trebuie menționate:
- cabluri de comandă și semnalizare (fig. II.13.1);
- cabluri de energie (cunoscute și sub denumirea de cabluri de forță) (fig. II.13.2);
- cabluri pentru transmisii de date, cu conductoare din cupru (fig. II.13.4) sau cu fibre optice (fig. II.13.6);
- cabluri coaxiale, pentru transmisii de semnale în gamele de frecevență video și audio (fig. II.13.3);
- cabluri și conductoare rezistente la temperaturi înalte, cunoscute și sub denumirea de siliconice;
- cabluri pentru telecomunicații, inclusiv cele realizate din fibre optice;
- cabluri și conductoare rezistente în diferite medii agresive;
- cabluri pentru instalații de semnalizare incendiu.

Cablurile de comandă și semnalizare pot fi rigide sau flexibile, ecranate sau neecranate, cu conductoarele numerotate sau nenumerotate, în acest din urmă caz putând fi realizate cu coduri de culori pentru identificarea conductoarelor.

După forma secțiunii materialului conductor, cablurile electrice de comandă pot fi rotunde sau plate (de tip panglică - fig. II.13.4). Pentru montare subterană se recomandă folosirea cablurilor armate (cu o armătură suplimentară, de obicei, bandă din oțel, pentru protecție mecanică).

Pentru protecția mediului se produc cabluri și conductoare "fără halogen", utilizându-se materiale electroizolante cu această proprietate (tab. II.13.1).

Cablurile cu fibre optice (fig. II.13.5 și fig. II.13.6) sunt în prezent cea mai performantă soluție pentru transmiterea la distanță a semnalelor analogice sau digitale, atât în domeniul telecomunicațiilor cât și în cel al transmisiei de dat. Avantajul constă, în principal, în eliminarea perturbațiilor de natură electromagnetică cauzate de fenomenele de comutație electrică și de descărcările electrice atmosferice.

Gama cablurilor fabricate acoperă toate cerințele legate de transmisia de date și telecomunicații, atât pentru lucrări interioare, cât și exterioare. Cablurile cu fibră optică pot fi îngropate în pământ, protejate în țevi de protecție sau se pot instala liber, în canale de cabluri.

Primele cabluri cu fibră optică au fost fabricate în SUA la începutul anilor '70 având o atenuare de circa 20 dB/km. Din 1972 s-a reușit, prin fabricarea unei sticle de înaltă puritate, să se ajungă la o atenuare de 4 dB/km. Deși sticla este cunoscută ca un material fragil, printr-o tehnologie specială, s-au obținut fibre de o mare elasticitate

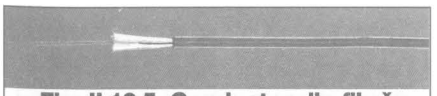
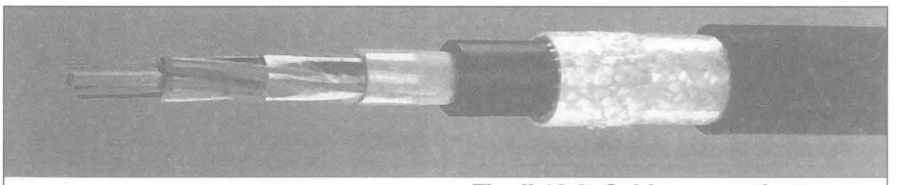


Fig. II.13.5. Conductor din fibră optică izolată pentru montare în interior.



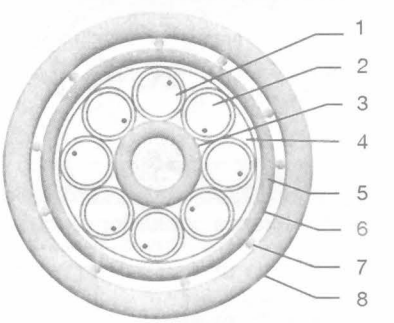


Fig. II.13.6. Cablu cu conductoare din fibră optică pentru montare exterioară:
1 - fir din sticlă pură, 62,5 μm, învelit într-o teacă de sticlă, culoare exterioară roșu, (pentru identificare la capete); 2 - idem, verde; 3 - suport central de rezistență; 4 - umplutură de mastic; 5 - înveliș din lac epoxidic; 6 - manta din aluminiu acoperită cu polietilenă; 7 - element nemetalic pentru preluarea deformărilor; 8 - manta exterioară din polietilenă neagră.

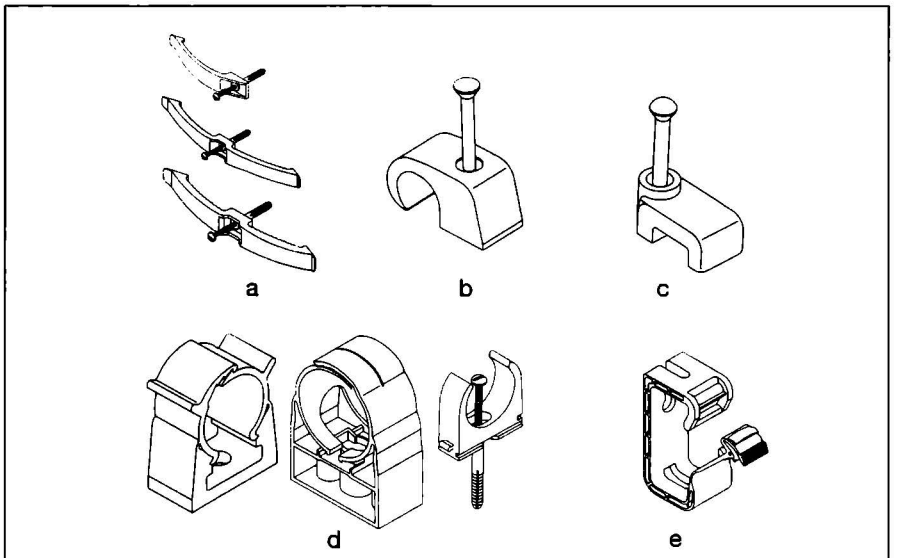


Fig. II.13.7. Cleme fără halogen pentru fixarea cablurilor electrice:
a - din poliacetat, pentru fixat mai multe cabluri; b - din polipropilenă, pentru fixat un cablu; c - din polistiren, pentru fixat un cablu; d - din poliamidă, pentru fixat două cabluri; e - din polipropilenă rezistentă la foc, pentru fixat un cablu.

și rezistență la șocuri mecanice. Diametrul fibrei este, uzual, de 10, 50, 62, 100 sau 200 μm, iar al mantalei izolante exterioare de 125, 140 și 230 μm (fig. II.13.6).

Transmiterea informațiilor prin fibre optice se face în domeniul infraroșu, indicele de refracție al sticlei utilizate fiind $n = 1,5$, rezultând o viteză de propagare $c/n \approx 200000$ km/s (200 m/μs).

Pentru transmisii pe distanțe scurte se mai folosesc și cabluri cu fibre din material plastic (cu un diametru de cca. 980 μm) care au o mai mare flexibilitate, dar o atenuare de cca. 150 dB/km.

La alegerea cablului se ține seama de volumul de informații care trebuie transmis (cablurile având una sau mai multe magistrale de fibre) și de mediul în care aceste cabluri se amplasează.

Conectarea cablurilor cu fibră optică la emițătorul / receptorul de date presupune o tehnologie specială, diferită de cea a celorlalte cabluri electrice. De aceea, producătorii de cabluri cu fibre optice oferă și o gamă largă de elemente specifice pentru conexiuni și, în consecință, cablurile de acest tip trebuie procurate împreună cu accesoriile necesare pentru fixare, conexiuni și joncțiuni.

Conductoarele unui cablu electric de energie trebuie să respecte următoarele culori:
- conductorul neutru - albastru deschis;
- conductorul de protecție - verde-galben;
- conductoarele de fază - negru, maro etc.

Conductorul neutru se recomandă să aibă o secțiune egală cu cea a conductoarelor de fază.

În cazul cablurilor cu culori diferite pentru conductoarele de fază se recomandă respectarea culorii fiecărei faze în toată instalația electrică de distribuție la consumator.

Cablurile electrice se instalează aparent sau mascat, în aer, pământ, beton sau apă. Pentru fiecare situație trebuie ales tipul de cablu adecvat.

Din punctul de vedere al comportării la flacără și foc se disting următoarele tipuri de cabluri și conductoare:
- fără întârziere la propagarea flăcării;
- cu întârziere la propagarea flăcării; prezintă proprietatea că, încercat individual la acțiunea flăcării, flacăra se stinge singură după un timp și la o distanță determinate de la locul aplicării flăcării;
- cu întârziere mărită la propagarea flăcării; prezintă proprietatea că, încercat în grup (pe trasee verticale sau orizontale) la acțiunea flăcării, aceasta se stinge singură după un timp determinat și la o distanță determinată de la locul aplicării flăcării.
- rezistent la foc; continuă să funcționeze normal în timpul și după un foc prelungit, intensitatea focului fiind suficientă pentru a distruge materialul electroizolant al cablului în zona în care se aplică flacăra.

În cazul montării aparente, în aer, cablurile electrice se pot fixa direct pe elementele de construcție cu ajutorul unor cleme, scoabe, brățări, suporturi sau coliere. În fig. II.13.7 sunt prezentate câteva tipuri uzuale de cleme fără halogen, pentru unul sau mai multe cabluri, în fig. II.13.9-10 se prezintă câteva tipuri uzuale de scoabe, brățări și suporturi de fixare.

Cablurile se prind de zidărie cu cleme rigide (fig. II.13.11) sau elastice (fig. II.13.12 și II.13.13).

Pentru susținerea cablurilor atât în plan vertical cât și în plan orizontal sunt utilizate cleme tip „gheară" (fig.II.13.14).

Aceste cleme se fixează pe elementele de construcție (tavan, pereți, stâlpi) cu ajutorul unei șine din cornier elec-

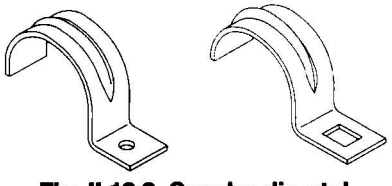


Fig. II.13.8. Scoabe din oțel galvanizat pentru fixarea cablurilor.

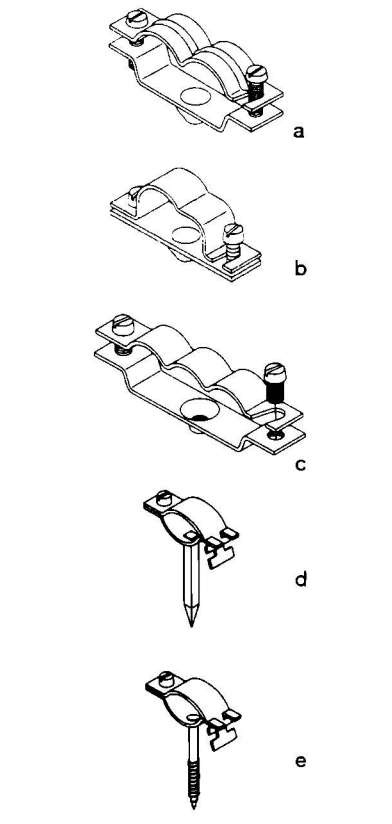


Fig. II.13.9. Brățări din oțel galvanizat pentru fixarea cablurilor electrice:
a - 2 cabluri cu secțiuni egale; b - 2 cabluri cu secțiuni diferite; c - 3 cabluri; d - cui de fixare cu secțiune pătrată, 5 mm; e - cui de fixare - cu șurub filetat, D = 4,3 mm, lungime 35 mm.

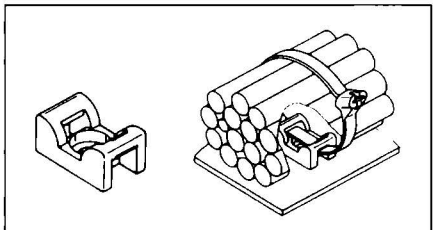


Fig. II.13.10. Suporți din poliamidă pentru fixarea cablurilor electrice.

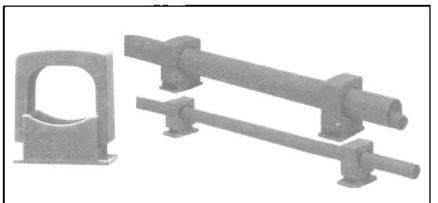


Fig. II.13.11. Soluție de fixare a cablurilor cu cleme din polistiren fără halogen și silicon.

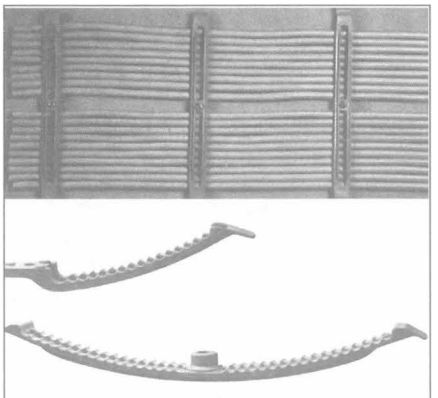


Fig. II.13.12. Soluție de fixare a cablurilor cu cleme elastice din poliacetat, fără halogen și silicon.

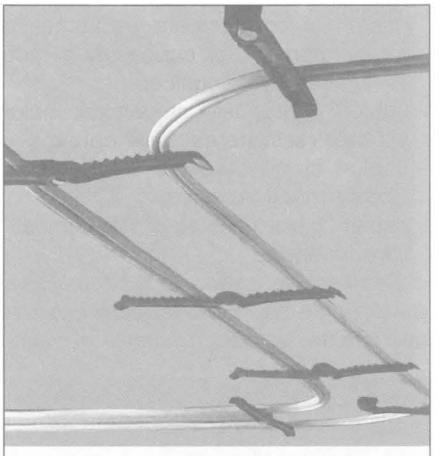


Fig. II.13.13. Soluție pentru fixarea cablurilor cu cleme elastice de tipul celor din fig. II.13.7 a.

trotehnic tip „C" (fig.II.13.15).

Prinderea de elementele de construcție a clemelor, brățărilor suporților sau șinelor „C" se face de regulă cu dibluri specializate pentru:
- beton (fig. II.13.16);
- pereți subțiri (fig. II.13.17);
- zidărie din cărămidă expandată (fig. II.13.18).

În cazul montării suspendate în aer a cablurilor sunt necesare elemente intermediare de susținere ca: stâlpi sau profile, console și poduri de cabluri. Podurile de cabluri se realizează, în mod curent, sub formă de jgheaburi din tablă perforată, scară sau sârmă sudată. Pentru o bună protecție contra corosiunii, stâlpii, consolele și podurile de cabluri se realizează din tablă din oțel zincat sau din oțel inoxidabil.

Zincarea se face, în funcție de mediul căruia îi sunt destinate elementele de susținere, prin 3 procedee:
- procedeul Sendzimir care asigură un strat de zinc cu grosimea de 30 - 40 μm;
- la cald, prin imersie în baie de zinc topit, asigurându-se un strat de zinc de 50 - 60 μm, respectiv 350 - 420 g/m^2;
- la cald, prin imersie repetată în zinc topit, prin care se asigură un strat de zinc de 90 - 100 μm.

Pierderea medie anuală de zinc pentru diferite medii se poate considera:
- pe câmp 7 - 15 g/m^2;
- în oraș 20 - 40 g/m^2;
- pe litoral 20 - 50 g/m^2;
- în industrie 40 - 80 g/m^2.

Pentru utilizare în mediul corosiv, elementele zincate pot fi vopsite sau acoperite cu pelicule speciale.

În industria alimentară se recomandă utilizarea jgheaburilor de cabluri și accesoriilor acestora din tablă inoxidabilă, special destinată acestui scop.

În fig. II.13.19 se prezintă soluții pentru suportul de fixare a consolelor propriu-zise și soluții de poduri din tablă perforată prin ambutisare. În cazul cablurilor cu secțiuni mari accesul pe podul de cabluri se face numai prin partea superioară, fără găurirea suplimentară a tablei pentru a nu degrada stratul de zinc.

Fixarea podurilor de cabluri se poate face (fig. II.13.19):
- pe console duble sau simple;
- prinse de șine „C" sau profile metalice (ce fac parte din elementele de construcție-ferme etc.);
- pe tiranți sau tendoane.

Fixarea pe lângă perete a podului de cabluri se face tot prin intermediul unei console.

Firmele producătoare oferă, pentru fiecare tip de pod de cabluri, curbe de variație a încărcării admise în funcție de distanța dintre console cu ajutorul

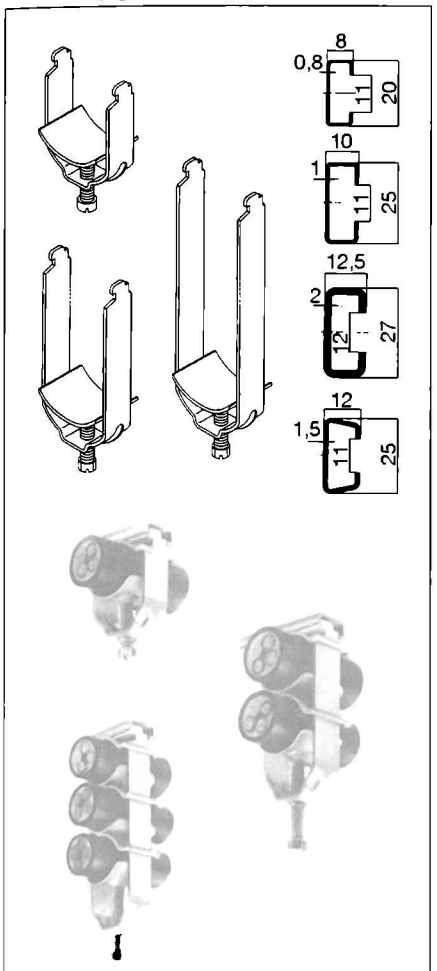


Fig. II.13.14. Cleme de susținere pentru cabluri, din oțel galvanizat.

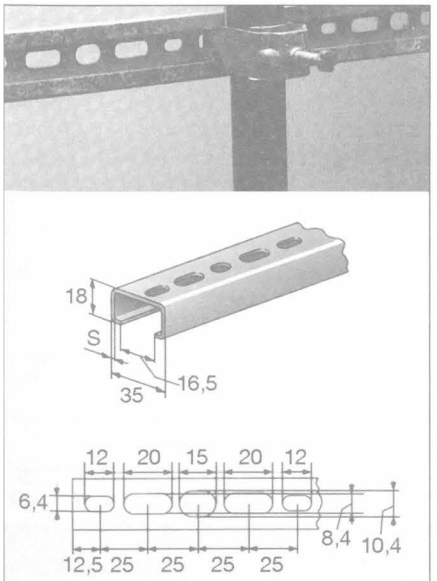


Fig. II.13.15. Soluție de fixare a cablurilor cu clemă de tip "gheară", pe șină "C" din oțel zincat prin procedeul Sendzimir.

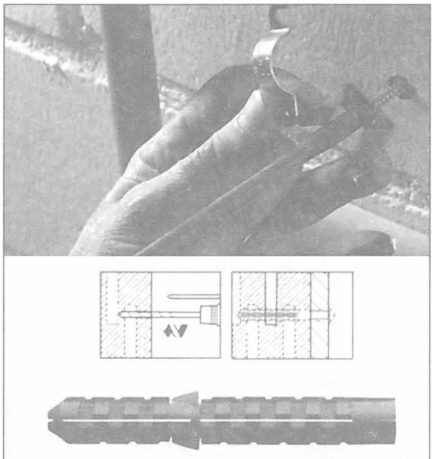


Fig. II.13.16. Soluție de fixare a unei brățări pentru cabluri cu ajutorul diblului în perete din beton.

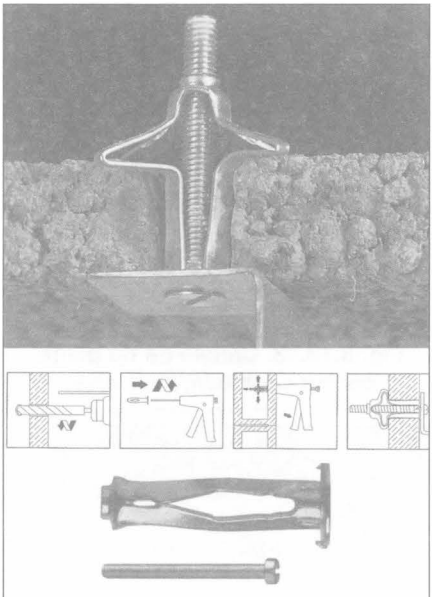


Fig. II.13.17. Soluție de fixare a accesoriilor pentru instalații cu ajutorul diblurilor speciale pentru pereți subțiri.

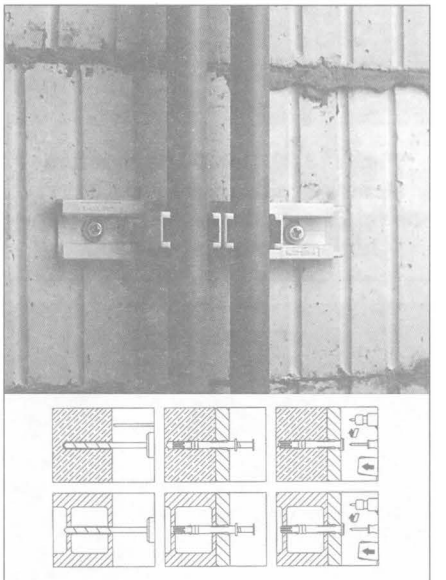


Fig. II.13.18. Soluție de fixare a diblurilor în cărămidă expandată. Se observă și fixarea șinei "C", a clemelor și cablurilor.

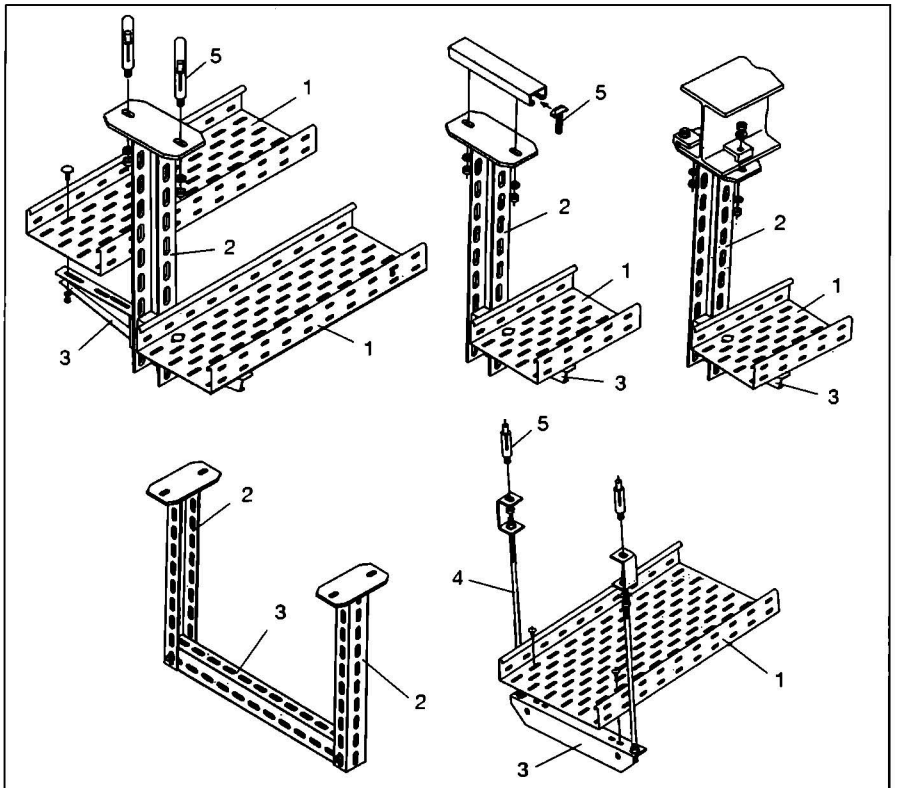


Fig. II.13.19. Soluții de fixare a podurilor de cabluri suspendate:
1 - tronsoane de poduri de cabluri din tablă perforată; 2 - suport pentru fixarea podurilor de cabluri; 3 - consolă; 4 - tirant; 5 - soluții de fixare a suporturilor.

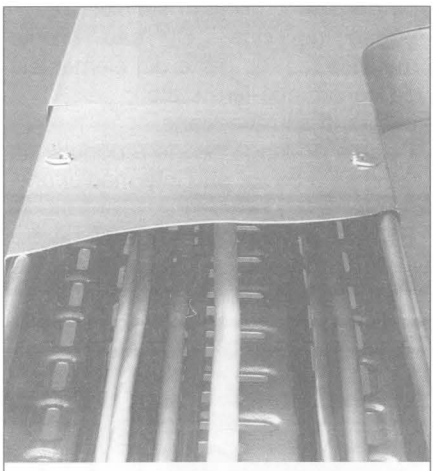


Fig. II.13.20. Soluție de montare a cablurilor pe un pod de cabluri de tip jgheab, din tablă zincată ambutisată, protejat cu capac.

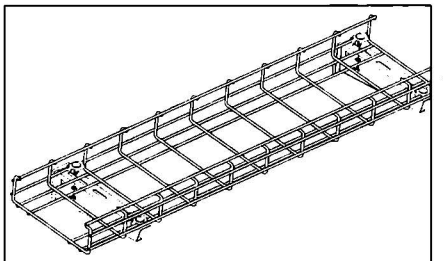


Fig. II.13.22. Pod de cabluri din sârmă sudată.

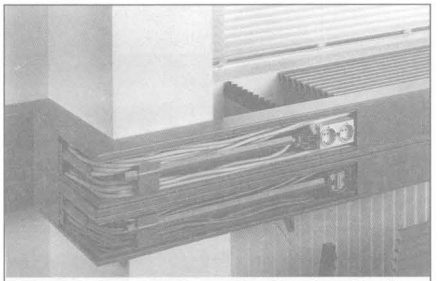


Fig. II.13.23. Canale de tip plintă pentru sedii administrative.

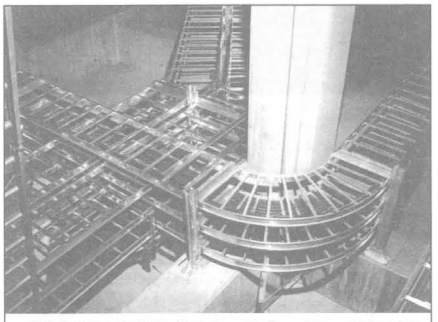


Fig. II.13.21. Ansamblu de poduri de cablu de tip scară într-o gospodărie industrială de cabluri.

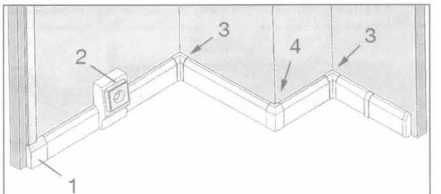


Fig. II.13.24. Sistem de plinte pentru circuite electrice:
1 - racord pentru intrare în cameră; 2 - doză de aparat; 3 - unghi interior; 4 - unghi exterior.

cărora se poate calcula distanța necesară între reazeme.

În spațiile în care există pericolul unor depuneri (prof, zgură etc.) sau solicitări mecanice ce ar putea afecta integritatea și buna funcționare a rețelelor de cabluri, podurile de cabluri orizontale se acoperă cu capace (fig. II.13.20).

Un alt tip de pod este podul tip „scară" (fig. II.13.21).

Profilele longitudinale și transversale sunt realizate din tablă îndoită la rece și, de obicei, zincată în aceleași condiții ca în cazul podurilor de tip jgheab. Forma profilului longitudinal îi conferă o rezistență mecanică deosebită, realizându-se o importantă reducere a consumului de metal. Traversele sunt realizate din șină de tip C și sunt fixate prin nituire de profilele longitudinale. Îmbinarea între tronsoane se face prin eclise.

O soluție mai economică o prezintă podurile de cabluri din sârmă sudată (fig. II.13.22). Protejarea contra corosiunii se face la fel ca în cazurile precedente. Îmbinarea tronsoanelor și schimbările de direcție nu prezintă dificultăți.

O altă soluție uzuală pentru montarea cablurilor electrice este cea a utilizării canalelor de forme și de culori asortate din punct de vedere al arhitecturii clădirilor. Aceasta se realizează, de obicei, de forme dreptunghiulare în secțiune, cu capace demontabile pentru introducerea cablurilor în interior. Sunt destinate, în special, traseelor de cabluri în interiorul locuințelor și localurilor publice, în situațiile în care montarea mascată în interiorul pereților nu este posibilă din diverse motive. Sunt confecționate din materiale plastice, aluminiu sau oțel. Sunt cunoscute și sub denumirea de plinte sau jgheaburi, prima denumire fiind folosită, în special, pentru cazul montării la nivelul pardoselii, la baza pereților. În figura II.13.23 se prezintă un jgheab dublu, pentru un număr relativ mare de cabluri, folosit frecvent în spațiile din sedii administrative. Acest sistem permite montarea de prize sau alte aparate (întreruptoare, butoane etc.) pe traseul jgheabului.

În fig. II.13.24 se prezintă un sistem, plintă și jgheab, cu detalierea pieselor componente pentru schimbarea de direcție, fixarea aparatelor etc.

Canalele din mase plastice și metalice (fig. II.13.25) se execută într-o gamă largă de dimensiuni și tipuri constructive.

Acestea permit montarea:
- circuitelor de lumină, prize și forță;
- circuitelor telefonice, de RTV, de TV-în cablu;
- altor circuite de transmitere a infor-

mațiilor: tehnică de calcul, semnalizare și avertizare etc;
- prizelor pentru curenți tari;
- prizelor telefonice, R-TV etc;
- întreruptoarelor pentru alte receptoare conectate la circuitele din canale etc.

Când există posibilitatea ca circuitele de transmitere a informațiilor (telefonice, semnalizare etc.) să fie influențate de câmpul electromagnetic creat de circuitele de curenți tari (lumină, prize etc.), acestea se montează în compartimentele ecranate ale canalelor sau se utilizează canale metalice (mai puțin estetice).

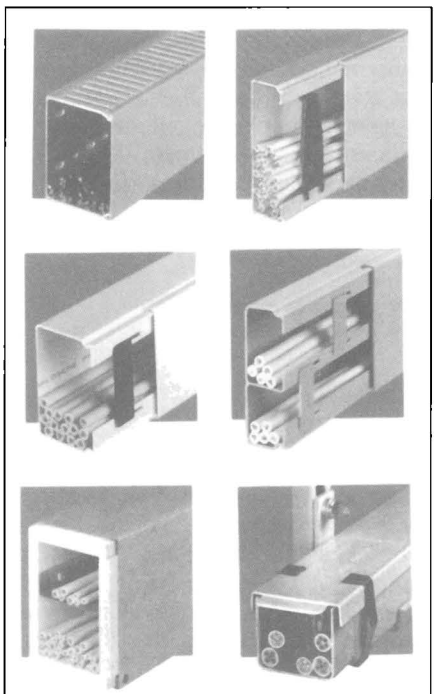


Fig. II.13.25. Jgheaburi și plinte din materiale plastice și metale.

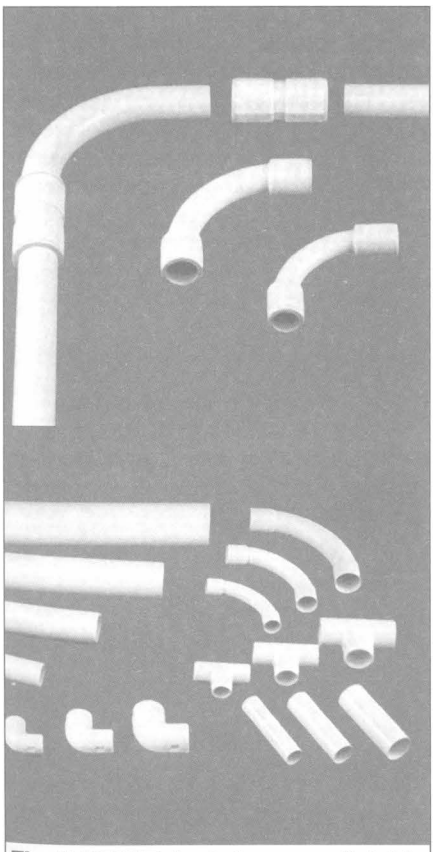


Fig. II.13.26 Tuburi și accesorii rigide pentru realizarea circuitelor electrice cu conductoare protejate.

Montarea mascată a cablurilor electrice în interiorul clădirilor se face, de obicei, în ghene special destinate acestui scop, în canale și tuburi în pardoseală și în tuburi în pereți. Canalele și tuburile se montează în pardoseală înaintea turnării betonului de egalizare, iar tuburile de protecție în pereți se recomandă să fie montate înainte de realizarea tencuielii. În cazul pereților de tip gips carton, cea mai bună soluție tehnologică este cea a montării circuitelor electrice în cabluri sau cu conductoare în tuburi, după montarea structurii de susținere a peretelui și a primei plăci de gips carton, respectiv, înainte de aplicarea izolației și a celei de a doua plăci.

În fig. II.13.26 sunt prezentate câteva tipuri de tuburi și accesorii din material plastic rigid pentru realizarea circuitelor electrice cu conductoare protejate în tuburi, montate în pereți.

Pentru trasee sinuoase în pereți sau pardoseli sunt folosite tuburile flexibile din material plastic (fig. II.13.27) sau metal (fig. II.13.28).

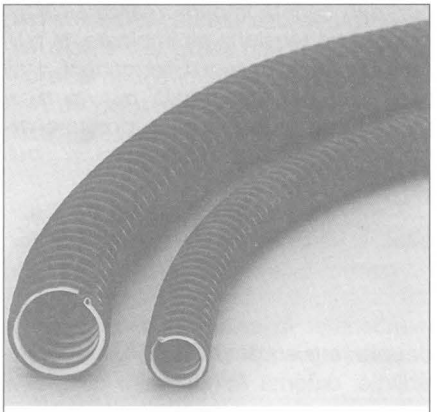


Fig. II.13.27. Tuburi flexibile din material plastic pentru protecția cablurilor și conductoarelor.

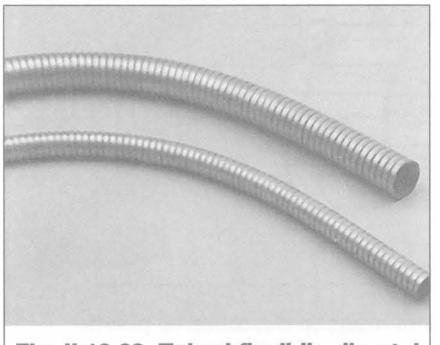


Fig. II.13.28. Tuburi flexibile din oțel pentru protecția cablurilor și conductoarelor.

Montarea cablurilor în exteriorul clădirilor se poate face *în pământ* la o adâncime de 0,6...0,7 m. Adâncimea este determinată de protejarea mecanică a cablurilor în care scop, la circa 20 cm deasupra cablurilor, trebuie montată și o folie avertizoare de atenționare. Cablurile se așează pe un pat de nisip de circa 0,1 m în scopul eliminării contactului cu diferite asperități care pot afecta învelișul de protecție, cu atât mai mult cu cât, la încărcarea cu sarcină nominală, cablurile sunt în stare caldă și învelișul este mai expus deteriorării. Tot pentru a proteja cablurile, deasupra acestora se recomandă să se realizeze o umplutură cu nisip de circa 10 cm. În zonele în care cablurile electrice subtraversează partea carosabilă a drumurilor, adâncimea de montare se recomandă să fie mai mare (de cel puțin 1 m), iar cablurile să fie

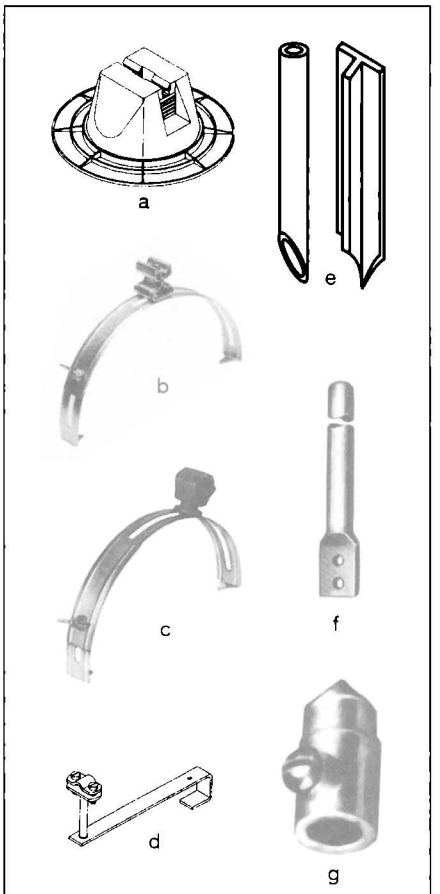


Fig. II.13.29. Subansambluri prefabricate pentru realizarea instalațiilor de paratrăsnet și de punere la pământ:
a - piesă pentru fixarea platbandei pe acoperișuri plate; b - piesă pentru fixarea platbandei pe coamă de țiglă; c - piesă pentru fixarea conductorului pe coamă de țiglă; d - piesă de fixare pe țiglă, din material plastic; e - electrod de împământare; f - tijă de paratrăsnet; g - vârf de paratrăsnet din alamă - cupru.

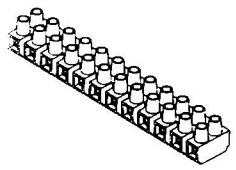


Fig. II.13.30. Conectoare din poliamidă rezistentă la flacără.

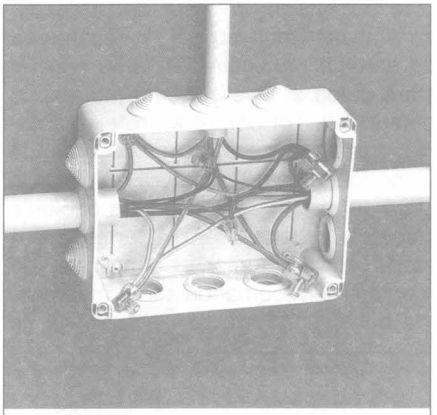


Fig. II.13.31. Conectarea conductoarelor de cupru într-o doză de derivație cu cleme prin presare.

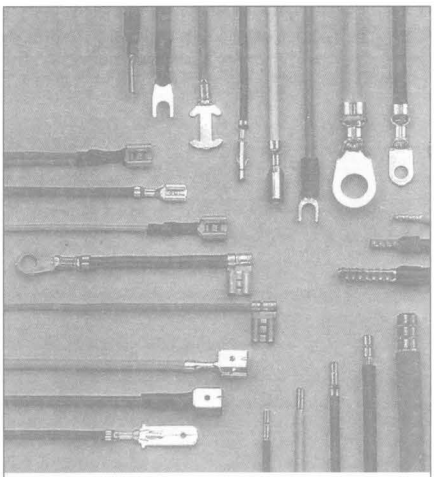


Fig. II.13.32. Papuci fixați pe conductoare prin sertizare.

protejate în țevi din oțel sau canale închise din beton. Pentru realizarea traseelor pentru subtraversare se pot folosi foreze cu deplasare orizontală.

Montarea cablurilor electrice în apă nu prezintă dificultăți. Lansarea se face cu ajutorul ambarcațiunilor, cablurile se lasă pe fundul apelor, iar la cele două maluri, se lasă rezerve de lungime și se marchează, vizibil, existența traseului de cabluri. Se evită zonele debarcaderelor.

Realizarea prizelor de pământ și a instalațiilor de paratrăsnet necesită soluții tehnologice specifice. Conductoarele electrice, în acest caz, sunt din oțel (sub formă de bandă galvanizată) sau cupru (sub formă de funie, în unele cazuri stanată), iar priza de pământ se poate realiza din electrozi confecționați din oțel profilat, țeavă din oțel sau bară din cupru. În figura II.13.29 sunt prezentate câteva piese prefabricate pentru realizarea acestor instalații.

Conectarea conductelor electrice este o operație tehnologică căreia trebuie să i se acorde o atenție deosebită datorită faptului că zonele de conectare reprezintă una din cele mai importante surse de defect al instalațiilor electrice. Tehnologiile de conectare trebuie să realizeze cerințe referitoare atât la rezistența mecanică cât și la conductibilitatea electrică. Cea mai importantă cerință impune realizarea unei pierderi de tensiune pe îmbinare, la curentul nominal în regim permanent, mai mică sau cel mult egală cu valoarea pierderii de tensiune pe o porțiune de circuit de lungime echivalentă a unui conductor de referință.

Soluțiile tehnologice bazate pe răsucirea și/sau cositorirea conductoarelor nu se mai recomandă în prezent datorită dificultăților de realizare a cerințelor menționate. În cazul cositoririi apar și dezavantajele posibilității deteriorării izolației datorită temperaturii de topire a cositorului sau creșterii rezistenței de contact ca urmare a unor supracurenți, la care cositorul poate să se topească. Soluțiile tehnologice cele mai utilizate sunt cele bazate pe folosirea conectoarelor (fig. II.13.30). În cazul conductoarelor flexibile de secțiune mică se folosesc și racorduri fixate la capetele conductoarelor prin sertizare. Această soluție are dezavantajul creării unor zone de contact suplimentare.

În zonele de derivație se pot folosi, ca soluții tehnologice alternative față de conectoarele din figura II.13.30 diverse alte tipuri de cleme de legătură prin presare cu sau fără șuruburi (fig. II.13.31).

Pentru conductoarele din aluminiu procedeul cel mai recomandat este sertizarea.

Pentru conectarea conductelor în tablouri și la receptoare se folosesc papuci fixați la capetele conductoarelor prin sertizare (fig. II.13.32).

În cazul unor receptoare de mică putere și al unor aparate de măsură, comandă sau comutație, conductoarele pot fi conectate direct, fără intermediul papucilor.

Pentru înădirea cablurilor electrice se recomandă soluțiile bazate pe procedee care folosesc manșoane din materiale plastice umplute cu rășini epoxidice, benzi și/sau tuburi termoretractabile. Pentru exemplificare, în figura II.13.33 este prezentat un manșon din material plastic utilizat atât pentru cabluri de joasă tensiune, cât și pentru cele de medie tensiune, cu mențiunea că ecranul metalic (10) se folosește numai la cablurile de medie tensiune. Analog sunt tratate și capetele terminale ale cablurilor.

Pentru cablurile cu fibră optică se

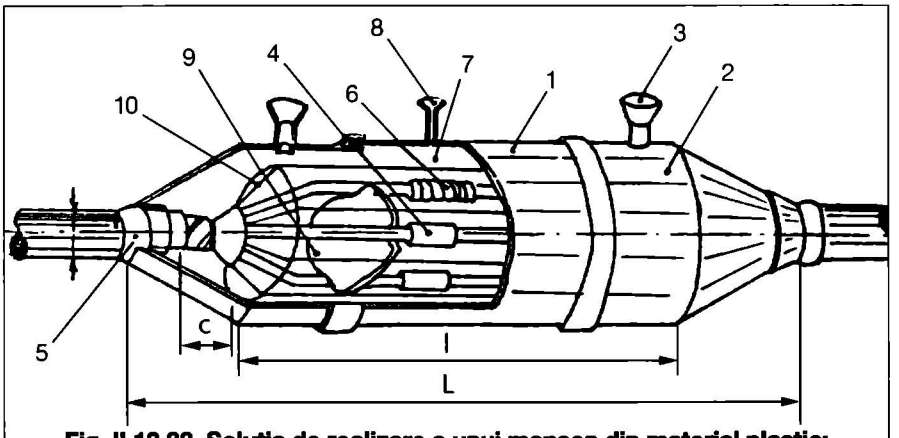


Fig. II.13.33. Soluția de realizare a unui manșon din material plastic:
1- corp manșon; - 2 con terminal; - 3 pâlnie de umplere; - 4 racord pentru presare; 5 - inel etanșare din PVC; 6 - izolație fază; 7 - masă de turnare; 8 - pâlnie de aerisire; 9 - distanțier; 10 - ecran.

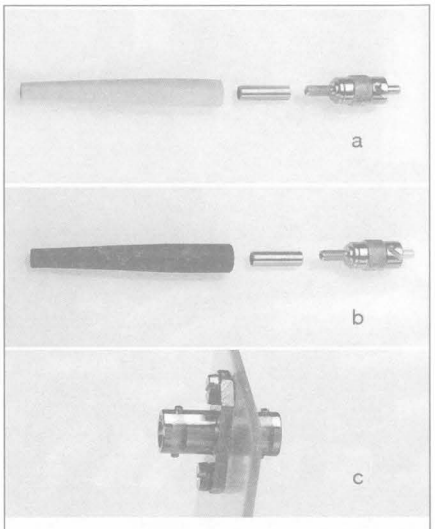


Fig. II.13.34. Conectori și cuplor:
a - conector cu pin metalic;
b - conector cu pin ceramic;
c - cuplor.

utilizează conectoare și cuploare specifice, cu pini metalici sau ceramici (fig. II.13.34).

13.2. Soluții tehnologice pentru montarea aparatelor și tablourilor electrice

Dezvoltarea utilizărilor energiei electrice și perfecționarea tehnologiei în domeniul fizicii arcului electric și contactelor electrice au condus la necesitatea și posibilitatea fabricației aparatelor electrice într-o gamă foarte largă de curenți nominali, de la fracțiuni de amper până la mii de amperi.

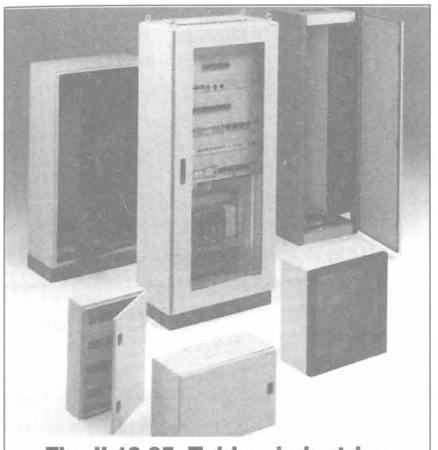


Fig. II.13.35. Tablouri electrice metalice pentru montare aparentă.

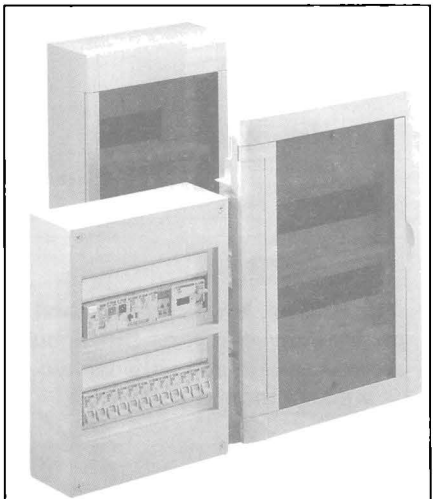


Fig. II.13.36. Tablouri electrice din materiale plastice pentru montare aparentă și îngropată.



Fig. II.13.37. Presetupe din polistirol fără halogen, IP54.

Amplasarea și montarea aparatelor electrice în instalații se face în tablouri electrice și/sau separat (local).

Tablourile electrice se confecționează din materiale metalice sau plastice și se montează aparent, fixate pe pardoseală, pe pereți sau mascat (îngropat) în spații special amenajate în interiorul pereților (fig. II.13.35 și II.13.36).

Intrările și ieșirile cablurilor sau tuburilor de protecție se pot face prin oricare parte a tablourilor. Se preferă partea inferioară când nu există motive pentru altă alternativă . Intrările și ieșirile pot fi libere sau prevăzute cu accesorii de fixare și etanșare, de obicei, de tipul presetupelor din bachelită, materiale plastice, oțel sau cauciuc. În figurile II.13.37 și II.13.38 sunt prezentate câteva tipuri de astfel de presetupe.

Nu este admisă fixarea conductoarelor cu accesorii din materiale feromagnetice pe suporturi din materiale feromagnetice deoarece se pot forma circuite în care curenții induși pot provoca supraîncălziri care pot conduce la avarii prin distrugerea izolației conductorului. Toate capetele circuitelor din tablouri (intrări în, și ieșiri din aparate și cleme de șir) trebuie etichetate conform schemei electrice. În cazurile în care este necesar, pentru identificare, trebuie etichetate și aparatele.

Tablourile electrice se amplasează astfel încât incendiile sau degajările de fum, care s-ar putea produce la ele, să nu se propage în încăperile cu aglomerări de persoane sau pe căile de evacuare ale acestora. Amplasarea se alege astfel încât să nu se stânjenească circulația sau să se pericliteze siguranța persoanelor.

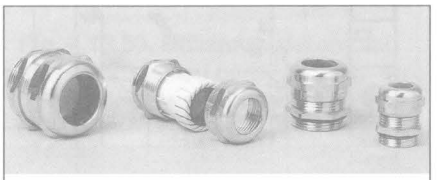


Fig. II.13.38. Presetupe metalice IP68.

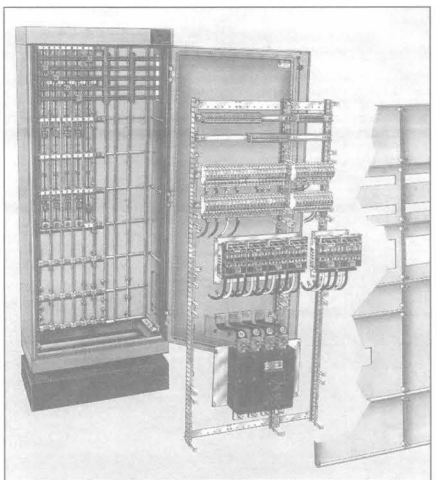


Fig. II.13.39. Soluție tehnologică de montare a unui tablou electric general.

Se evită montarea tablourilor electrice în locuri în care există posibilitatea deteriorării lor în exploatare, ca urmare a loviturilor mecanice sau a acțiunii agenților agresivi. Dacă acest lucru nu este posibil, tablourile electrice se aleg cu un grad de protecție adecvat sau se iau măsuri pentru protejarea lor.

Se recomandă montarea tablourilor electrice astfel încât înălțimea de la pardoseala finită până la latura de sus a tabloului să nu depășească 2,30 m. Fac excepție cele din clădirile de locuit pentru care se admite o înălțime de cel mult 2,50 m, dar se recomandă montarea lor la o înălțime convenabilă pentru exploatare, în locuri discrete și, în același timp, ușor accesibile pentru intervenții.

Înălțimea față de pardoseala finită a laturii de jos a tablourilor va fi astfel stabilită încât să permită realizarea în bune condiții a razei de curbură pentru cablurile care intră în tablou.

Pentru tablourile montate în încăperi speciale în care are acces numai personal instruit, înălțimea de montaj nu se normează.

Lățimea coridorului de servire din fața sau din spatele tabloului, măsurată între punctele cele mai proeminente ale tabloului de distribuție la elementele neelectrice de pe traseul coridorului (perete, balustradă de protecție etc.), trebuie să fie de cel puțin 0,8 m.

Lățimea coridorului de servire între două tablouri de distribuție sau a coridorului dintre tablou și alte echipamente sau utilaje electrice se recomandă să fie de cel puțin 1 m. Distanța dintre elementele sub tensiune neizolate a două tablouri așezate de ambele părți ale coridorului de servire sau dintre aceste elemente ale tabloului și alte echipamente sau utilaje electrice se recomandă să fie de cel puțin 1,4 m. Înălțimea minimă a coridorului de servire din fața sau din spatele tabloului de distribuție, măsurată de la pardoseală până la tavanul încăperii, se recomandă să fie de cel puțin 2 m.

Se interzice montarea tablourilor de

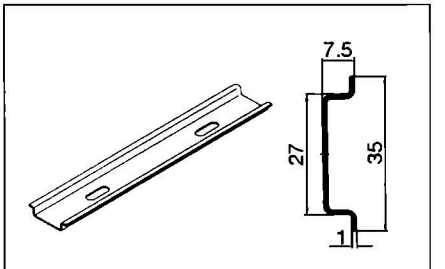


Fig. II.13.40. Șina suport, profil 35 x 7,5, tip EN.

distribuție în interiorul podurilor de cabluri.

Fixarea tablourilor electrice montate aparent se face direct pe pardoseală sau pereți, cu ajutorul diblurilor de fixare. În încăperile în care pardoseala este supusă, frecvent, spălării cu apă se intercalează un soclu metalic între tablou și pardoseală.

Pentru tablourile electrice montate la distanță de pereți și pardoseli, tablourile se fixează pe suporturi din profile, fixate la rândul lor, de obicei, pe pardoseală, pereți și, mai rar, de plafoane.

Fixarea tablourilor electrice montate încastrat în nișe se face, de obicei, cu dibluri sau cu alte soluții adecvate specificului locurilor de amplasare (sudare, console etc.). În cazul montării mascate se admite confecționarea tablourilor de tip ramă și cu tablă numai în partea frontală, eventual, cu tablă subțire în părțile laterale folosită în loc de cofraj la confecționarea nișei din beton.

Aparatele electrice din tablouri se montează pe stelaje (fig. II.13.39) care sunt prinse de carcasa tabloului cu șuruburi sau prin sudare. Pe partea frontală a tabloului se execută decupări pentru elementele de acționare (butoane, pârghii etc.), de semnalizare (lămpi) sau pentru aparatele de măsură (ampermetre, voltmetre, contoare etc.).

Legăturile electrice în tablouri se execută numai cu conductoare din cupru:
- neizolate, rigide;
- izolate, flexibile sau rigide.

Fixarea aparatelor pe tablouri se face prin practicarea unor goluri de fixare în partea frontală a tablourilor în care acestea se înșurubează, se fixează cu șuruburi sau se încastrează fixându-se prin diverse soluții în partea posterioară a tablei frontale a tablourilor.

Fixarea aparatelor în interiorul tablourilor se face, de obicei, cu ajutorul șinei tipizate denumită șină EN (fig. II.13.40). Această soluție presupune folosirea aparatelor în construcția adecvată acestei tehnologii de fixare. Gama acestor aparate a crescut deosebit de mult în ultimii ani, fapt care a condus la consacrarea soluției tehnologice de fixare a aparatelor pe șină de acest tip ca soluție principală pentru montarea aparatelor în tablouri.

Șina tip EN a devenit astfel un subansamblu de bază pentru montarea aparatelor cu funcțiuni foarte diverse în tablourile electrice. Fig. II.13.41...45 prezintă numai câteva exemple de aparate care se pot fixa, în prezent, cu acest tip de șină, care la rândul ei se poate fixa foarte simplu, prin șuruburi, în orice tip de tablou electric.

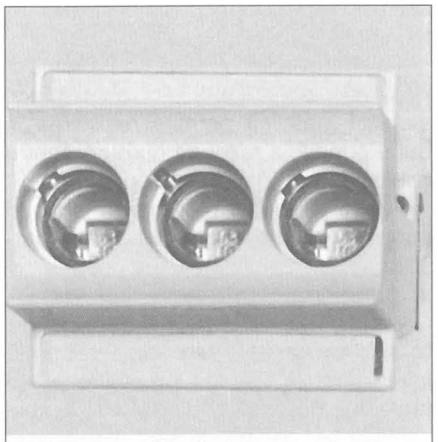
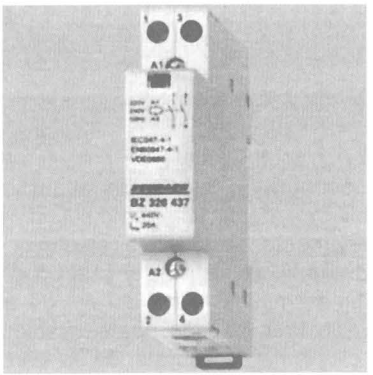


Fig. II.13.41. Socluri pentru siguranțe fuzibile LF 16 A - 63 A, 250/400 V.



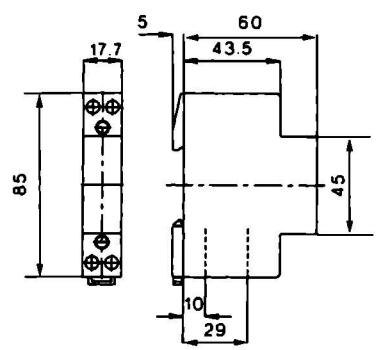
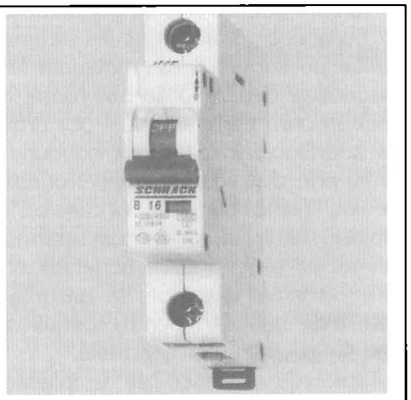


Fig. II.13.42. Contactor bipolar 20 A/230 V, cu 2 c.n.d.



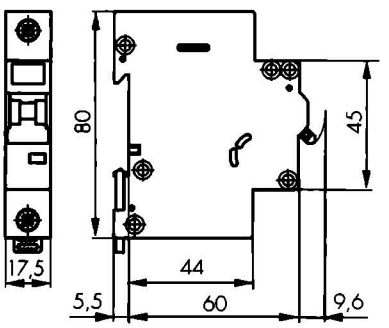


Fig. II.13.43. Întreruptor - disjunctor monopolar 16 A, 15 kA.

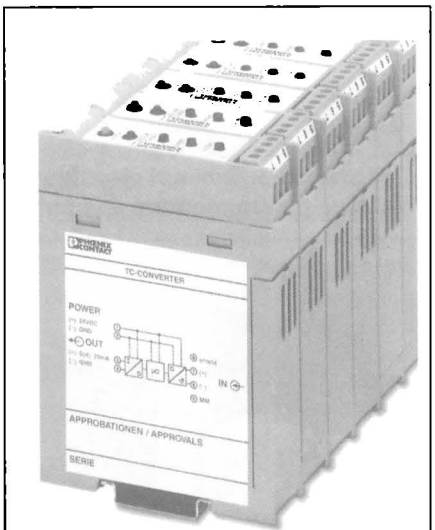


Fig. II.13.44. Modul programabil pentru conversia semnalului unui termocuplu în semnal analogic unificat, montat pe șină EN.

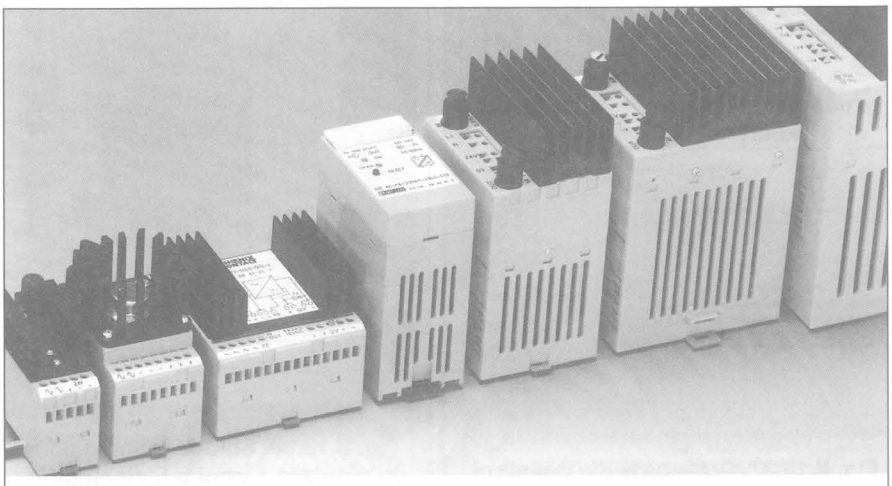


Fig. II.13.45. Surse de putere montate pe șină EN.

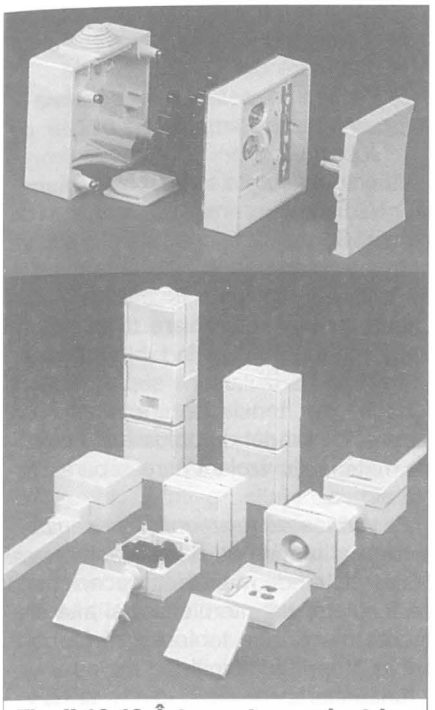


Fig. II.13.46. Întreruptoare electrice pentru comandă iluminat, montaj aparent interior.

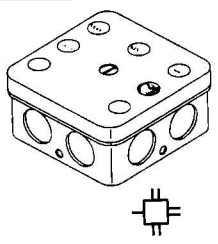


Fig. II.13.47. Doză de derivație etanșă, incombustibilă, din duraplast, IP54.

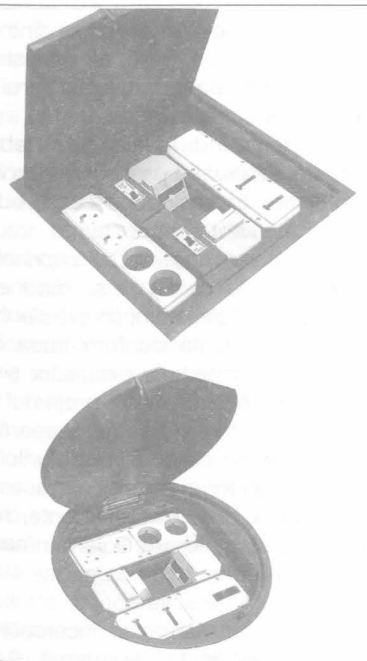


Fig. II.13.48. Doze de pardoseală pentru 12 aparate.

Montarea și demontarea aparatelor pe și de pe șină se face printr-un sistem fără șuruburi, fiabil și de mare productivitate.

Aparatele electrice din afara tabloului se pot monta aparent pe elementele de construcție sau îngropat în acestea.

Fixarea aparentă a aparatelor se face, de obicei, în cazul celor montate pe pereți, cu dibluri sau șuruburi, în funcție de materialul din care este realizat peretele.

Fixarea aparatelor montate îngropat se face în doze de aparat, cu ajutorul șuruburilor de fixare. Dozele se montează în goluri practicate cu ajutorul frezelor speciale pentru doze (pentru beton sau gips carton).

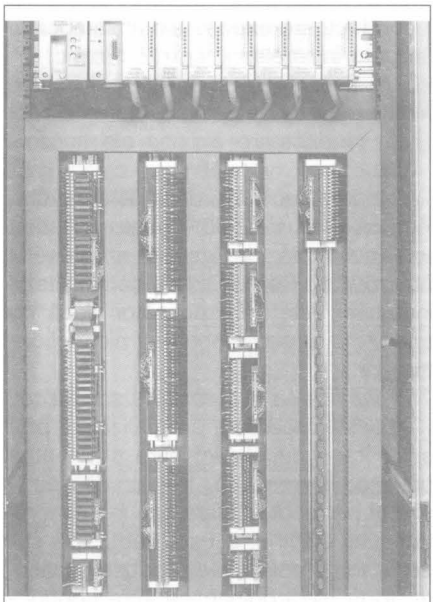


Fig. II.13.50. Utilizarea sistemului prefabricat pentru conexiuni într-un tablou de automatizare.

Fixarea aparatelor montate la distanță de pardoseală sau perete se face cu ajutorul unor suporturi fixate, la rândul lor, pe pardoseală, perete, plafoane sau utilaj.

Fig. II.13.46 prezintă tipuri de aparate de comandă pentru iluminat și părți componente ale acestora pentru montajul aparent (la interior).

Conectarea conductoarelor la aparate se face în bornele acestora, direct sau cu papuci (§ 13.1). Dozele de derivație a circuitelor, în care se realizează conectarea conductoarelor electrice, se montează încastrat în pereți, îngropat în pardoseli și aparent pe pereți sau plafoane (deasupra plafoanelor false). În fig. II.13.47 este prezentată o doză de derivație etanșă pentru montare aparentă, iar în fig. II.13.48, exemple de doze de derivație etanșe și de subansambluri ale acestora pentru montare în pardoseală (necesare atunci când încăperile sunt de mari dimensiuni și există multe receptoare montate în câmpul încăperii).

Prefabricarea instalațiilor electrice, cu consecințele binecunoscute de reducere a manoperei și creștere a calității, s-a extins și în domeniul realizării conexiunilor, în special, a celor pentru curenți mici în tablourile de automatizare. În fig. II.13.49 sunt prezentate componentele și principiul unui sistem de prefabricare parțială a conexiunilor în cleme, iar în fig. II.13.50 este prezentat un exemplu de aplicare într-un tablou electric de automatizare a sistemului de prefabricare a 50 % din conexiuni. Pe lângă avantajele cunoscute ale prefabricării, în acest caz, se realizează și reducerea probabilității erorilor de conectare, realizarea controlului prealabil al calității conexiunilor și reducere foarte

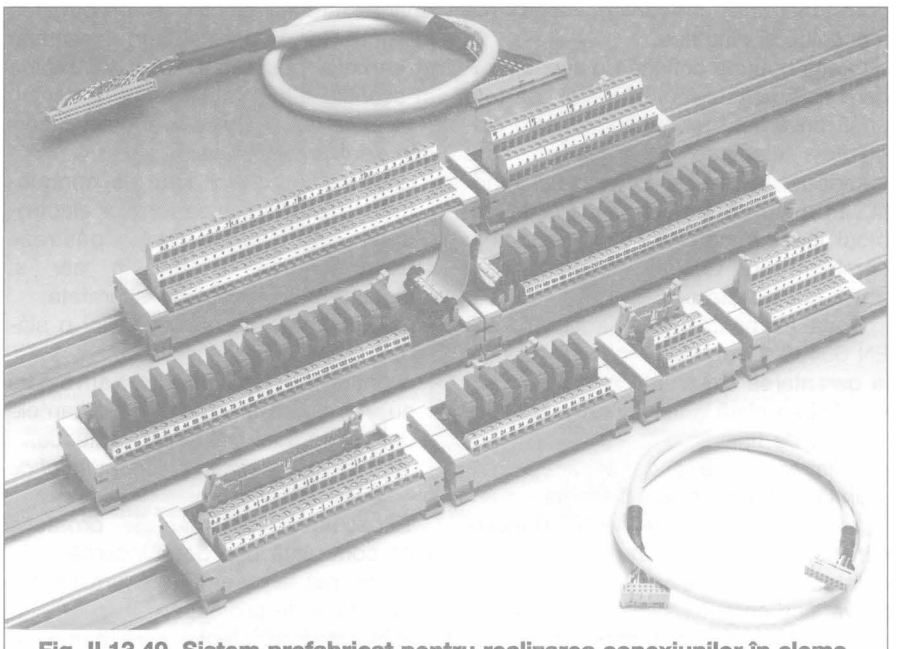


Fig. II.13.49. Sistem prefabricat pentru realizarea conexiunilor în cleme.

importantă a duratei de mentenanță corectivă. Toate acestea conduc la o creștere importantă a fiabilității și mentenabilității întregii instalații.

13.3. Norme referitoare la construcția tablourilor electrice

Tabloul de distribuție este unul dintre cele mai importante elemente ale unei instalații electrice.

Proiectarea și construcția acestuia trebuie făcute conform unor standarde bine definite, astfel încât orice improvizație să rămână în afara legii.

Asociația de Standardizare din România (ASRO) a aprobat în decembrie 2001 standardul român SR EN 60439-1, „Ansambluri de aparataj de joasă tensiune". Acest standard este identic cu standardul european EN 60439-1:1999, care a preluat fără modificări standardul internațional CEI 60439-1:1999.

SR EN 60439-1 are ca obiect formularea definițiilor, a prescripțiilor constructive, a caracteristicilor tehnice și a încercărilor pentru ansamblurile de aparataj de joasă tensiune ($U_n < 1000$ V).

Standardul definește ansamblul de aparataj de joasă tensiune (tabloul electric) ca fiind „combinația unuia sau a mai multor aparate de comutație de joasă tensiune cu echipamente de comandă, măsură, protecție și reglare, complet asamblate sub responsabilitatea producătorului, având toate legăturile electrice și mecanice interioare și elementele lor constructive.

Este important de reținut în această definiție că totalitatea elementelor constructive ale tabloului este cuprinsă în noțiunea de ansamblu: aparatele, componentele mecanice, legăturile mecanice și electrice.

O altă noțiune definită de acest standard este unitatea funcțională: „parte a unui ansamblu conținând toate elementele electrice și mecanice care contribuie la realizarea aceleiași funcții". Pornind de la această definiție, tabloul electric poate fi conceput ca o combinație de unități funcționale, care pot fi standardizate.

Două elemente ale standardului SR EN 60439-1 contribuie în mod esențial la garantarea siguranței în exploatare:

- definirea clară a încercărilor individuale și de tip;
- definirea formelor de separare între unitățile funcționale adiacente.

Astfel, standardul definește 10 încercări obligatorii care garantează conformitatea tabloului electric și au scopul să verifice caracteristicile acestuia:

- 7 teste de tip, destinate să verifice conformitatea ansamblului cu prescripțiile din standard și care se efectuează pe părți ale ansamblului;
- 3 teste individuale, care se realizează pe tabloul complet terminat. Acestea sunt destinate să verifice conservarea caracteristicilor validate de testele de tip (detectează eventuale defecte ale materialelor sau defecte de fabricație).

Cele 7 teste de tip sunt următoarele:

1) Verificarea limitelor de încălzire

Se verifică dacă nu sunt depășite limitele de încălzire prescrise pentru diferite părți ale ansamblului, în condițiile încărcării la curent nominal, în regim termic permanent.

2) Verificarea proprietăților dielectrice

Tensiunea de încercare trebuie aplicată:

- între toate părțile active și părțile conductoare expuse ale ansamblului, legate între ele;
- între fiecare pol și ceilalți poli racordați, pentru această încercare, la părțile conductoare expuse ale ansamblului.

Valoarea tensiunii de încercare dielectrică este de *2500* V pentru o tensiune nominală de izolare a tabloului $U_i \leq 690$ V. Se consideră că rezultatul încercării este corespunzător dacă nu apare nici o străpungere și nici o conturnare.

3) Verificarea la curenți de scurtcircuit

Această încercare se realizează prin simularea unui defect care s-ar putea produce în practică. În caz de scurtcircuit petrecut în afara sau în interiorul tabloului electric, acesta trebuie să suporte toate solicitările produse (încălzire, forțe electrodinamice între conductoare sau bare etc.). Rezistența la aceste solicitări înseamnă în primul rând evitarea pericolelor (ruperea sau proiectarea de bucăți din componente, apariția arcului electric și propagarea lui etc.). Dar, în același timp, înseamnă și garanția posibilității repunerii rapide în serviciu a instalației după incident.

Rezultatele dorite ale acestei încercări sunt următoarele:

- deformările barelor sau ale conductoarelor sub acțiunea forțelor electrodinamice trebuie să păstreze distanțele de izolare în aer și distanțele de izolare pe suprafață;
- nu trebuie să se producă nici o slăbire a conexiunilor electrice;
- eventualele deformări ale anvelopei nu trebuie să afecteze nici distanțele de izolare, nici gradul de protecție.

4) Verificarea eficacității circuitului de protecție

Eficacitatea circuitului de protecție este controlată prin două încercări:

- verificarea la curenți de scurtcircuit a circuitului de protecție;
- măsurarea rezistenței între borna de intrare a conductorului de protecție și diferitele părți conductoare expuse ale ansamblului, care nu trebuie să fie mai mare de 0,1 Ω .

5) Verificarea distanțelor de izolare în aer și a distanțelor de izolare pe suprafață

Valorile măsurate trebuie să fie superioare distanțelor minime indicate de normă. Se aplică conductoarelor active neizolate și aparatelor. Distanța minimă de izolare în aer este funcție de tensiunea nominală de izolare la impuls și de gradul de poluare în tablou. Distanța minimă de izolare pe suprafață este funcție de tensiunea nominală de izolare, de gradul de poluare și de grupa materialului izolant care separă părțile active.

6) Verificarea funcționării mecanice

Norma impune ca după efectuarea a 50 de cicluri de manevre, mecanismele de încuiere, de interblocare și alte elemente mobile ale tabloului să își conserve proprietățile inițiale:

- funcționare;
- efort la manevrare.

7) Verificarea gradului de protecție

Încercarea are rolul de a valida caracteristicile anunțate de constructor prin codul IP pentru tabloul montat-cablat și echipat cu toate panourile și toate elementele care formează îmbrăcămintea exterioară. Se verifică astfel aptitudinea tabloului complet montat de a proteja:

- persoanele, împotriva accesului la părțile sub tensiune;
- materialul din interior, împotriva pătrunderii corpurilor solide străine și a lichidelor;
- materialul din interior, împotriva influențelor externe (lovituri, corosiune).

Încercările de tip pot fi executate în ordinea dorită, pe un eșantion dintr-un ansamblu sau pe părți ale acestuia, executate pe baza aceluiași proiect sau a unuia similar.

Cele 3 teste individuale, care trebuie efectuate sistematic pe fiecare nou ansamblu montat sau, după caz, pe fiecare unitate de transport sunt:

1) Examinarea ansamblului cuprinzând examinarea cablajului și, dacă este cazul, verificarea funcționării electrice

Trebuie verificată conformitatea ansamblului cu schemele circuitelor și cu datele tehnice indicate în proiectul de execuție, montarea corectă a aparatelor, amplasarea corectă a cablurilor și a conductoarelor și strângerea acestora, marcarea diferitelor elemente, respectarea distanțelor de izolare în aer și pe suprafață etc.

2) Încercarea electrică

Se aplică tensiunea de încercare în condițiile specificate de normă și se verifică pe timpul încercării că nu apare nici o conturnare și nici o străpungere.

3) Verificarea măsurilor de protecție și a continuității electrice a circuitelor de protecție

Trebuie verificate:
- măsurile de protecție împotriva atingerilor directe și indirecte;
- continuitatea circuitelor de protecție.

Un alt aspect important al SR EN 60439-1 este definirea modurilor de separare a interiorului unui ansamblu prin bariere sau pereți despărțitori, în scopul realizării următoarelor protecții:
- protecția împotriva atingerii părților periculoase aparținând unităților funcționale adiacente;
- protecția împotriva pătrunderii corpurilor solide străine dintr-o unitate a ansamblului într-o unitate adiacentă.

Sunt definite astfel 7 forme de separare distincte pentru a asigura protecția împotriva contactelor directe, în cazul intervenției în tabloul aflat sub tensiune, forme pentru care norma oferă o reprezentare schematică (fig. II.13.51).

Forma 1: nici o separare interioară

Cutia tabloului este închisă pe toate părțile, cu un grad de protecție minim egal cu IP2x, fără separări interioare.

Forma 2: separarea barelor colectoare de unitățile funcționale

Forma 2a: bornele pentru conductoare exterioare neseparate de barele colectoare

Forma 2b: bornele pentru conductoare exterioare separate de barele colectoare

Forma 3: separarea barelor colectoare de unitățile funcționale și separarea tuturor unităților funcționale între ele. Separarea bornelor pentru conductoare exterioare de unitățile funcționale, dar nu și separarea bornelor între ele.

Forma 3a: bornele pentru conductoare exterioare neseparate de barele colectoare

Forma 3b: bornele pentru conductoare exterioare separate de barele colectoare

Forma 4: separarea barelor colectoare de unitățile funcționale și separarea tuturor unităților funcționale între ele, inclusiv a bornelor pentru conductoare exterioare, care fac parte integrantă din unitatea funcțională

Forma 4a: bornele pentru conductoare exterioare sunt amplasate în același compartiment cu unitatea funcțională căreia îi aparțin.

Forma 4b: bornele pentru conductoare exterioare nu sunt amplasate în același compartiment cu unitatea funcțională căreia îi aparțin, ci în spații protejate sau în compartimente individuale separate și închise

Alegerea formei de construcție a tabloului trebuie să facă obiectul unui acord între constructorul de tablouri și utilizator.

În ceea ce privește posibilitatea de a efectua intervenții asupra tabloului aflat sub tensiune:
- aceasta este nulă pentru tablourile de forma 1, orice intervenție impunând scoaterea de sub tensiune a acestuia;
- pentru tablourile de forma 2, intervenția asupra unei unități funcționale este supusă numai riscului manifestărilor exterioare ale unităților funcționale învecinate.

În ceea ce privește intervenția asupra bornelor pentru conductoare exterioare, pentru forma 2a există riscul ridicat al atingerii barelor colectoare sub tensiune, risc eliminat în cazul formei 2b;

- forma 3 elimină, față de forma 2, riscul manifestărilor exterioare ale unităților funcționale învecinate;

- forma 4 elimină practic toate riscurile, putându-se interveni asupra unei unități funcționale și asupra bornelor pentru conductoare exterioare care îi aparțin, fără întreruperea generală a tabloului.

CEI 60439-1 este o normă recunoscută de peste 100 de țări din lume.

Se poate da ca exemplu practic sistemul funcțional Prisma, fabricat de SCHNEIDER ELECTRIC (fig. II.13.52), care permite realizarea de tablouri de calitate până la 3200 A, conforme cu SR EN 60439-1.

În cazul sistemului funcțional Prisma, responsabilitatea garantării conformității cu SR EN 60439-1 este împărțită între SCHNEIDER ELECTRIC și constructorul de tablouri. Astfel, SCHNEIDER a efectuat cele 7 teste de tip cu aparatură marca Prisma produsă de SCHNEIDER ELECTRIC, pe care le garantează și pentru care poate oferi buletinele de test obținute pe platforme de test acreditate (LOVAG, ASEFA, KEMA, LCIE, ASTA). Constructorului de tablouri care asamblează Prisma îi rămâne de efectuat cele 3 teste inidividuale pentru a dovedi conformitatea cu standardul. Răspunderea lui este angajată prin aceste 3 teste, în urma cărora trebuie să emită buletine de test.

Prisma este un sistem de instalare și racordare electrică presetat, care constă din componente mecanice și electrice concepute pentru a simplifica integrarea aparatelor produse de SCHNEIDER ELECTRIC.

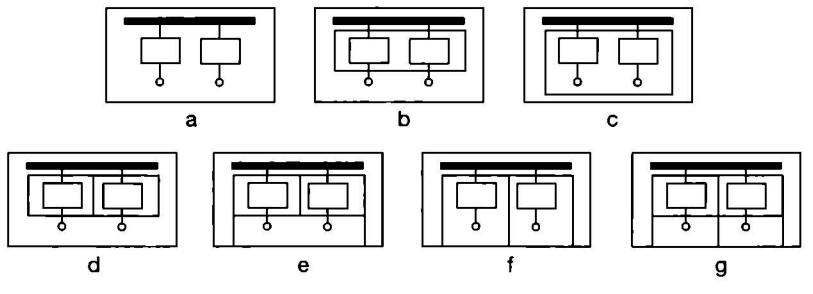


Fig. II.13.51. Modurile de separare a interiorului unui ansamblu:
a - forma 1; b - forma 2a; c - forma 2b; d - forma 3a; e - forma 3b; f - forma 4a; g - forma 4b.

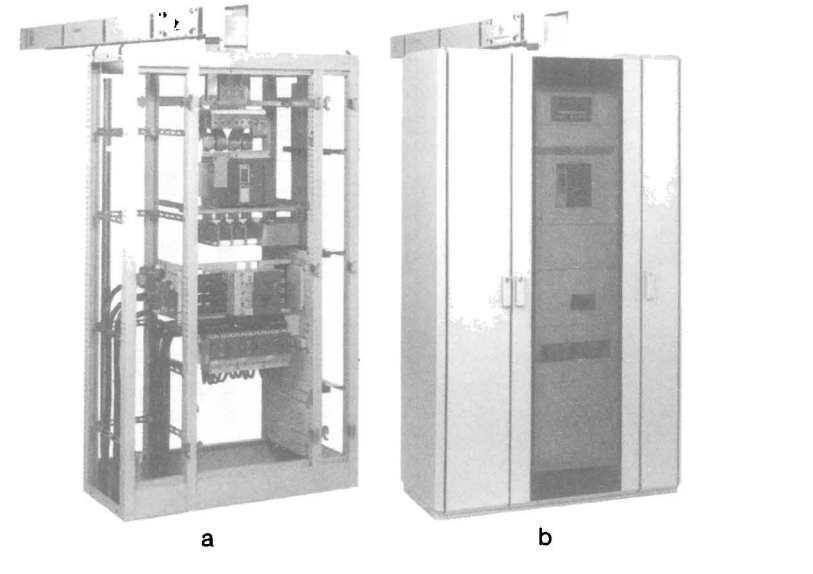


Fig. II.13.52. Tablou electric „Prisma" SCHNEIDER ELECTRIC:
a - fără panouri laterale; b - complet echipat.

Fiecare aparat sau grup de aparate similare este autonom în tablou, ocupă un spațiu definit în module de 50 mm înălțime și cuprinde:
- un suport de fixare dedicat;
- o placă de protecție față și eventuale plăci de separare complementare;
- racorduri electrice amonte/aval, în general prefabricate;
- eventuale circuite auxiliare deconectabile.

Astfel, fiecare aparat poate fi demontat, deplasat sau înlocuit cu un altul fără a afecta alte dispozitive instalate în tablou.

Tabelul II 13.1 Caracteristici ale unor materiale electroizolante utilizate în fabricația cablurilor și conductoarelor electrice

DENUMIRE			CARACTERISTICI ELECTRICE				CARACTERISTICI TERMICE					HAL.	MEDIU	
Simbol	Abreviere	Denumire material	Densitate [g/cm³]	R_d [kV/mm] (20 °C)	R_v [Ωcm] (20 °C)	tg δ	θ_r perm. [°C]	θ_r sd [°C]	θ_t [+°C]	Rezistență la foc	Sarcina termică [MJ/kg]	C_t [W/Km]	Rezistență la radiații [Mrad]	prezență halogen	Rezistență la condițiile climatice	Rezistența la frig
Y	PVC	Policlorură de vinil	1,35...1,5	25	10^{13}...10^{15}	$4x10^{-2}$ ...$1x10^{-1}$	-30 +70	+100	>140	auto-stingere	17...25	0,17	80	nu	medie-bună	moderată-bună
2Y	LDPE	Polietilenă de joasă densitate	0,92...0,94	70	10^{17}	$2x10^{-4}$	-50 +70	+100	105 ...110	inflamabilă	42...44	0,3	100	da	medie-bună	bună
	HDPE	Polietilenă de înaltă densitate	0,94...0,98	85	10^{17}	$3x10^{-4}$	-50 +100	+120	130	inflamabilă	42...44	0,4	100	da	medie-bună	bună
3Y	PS	Polistiren	1,05	30	10^{16}	$1x10^{-4}$	-50 +80	+100 da	>120	inflamabilă	40...43	0,25	80	da	medie-bună	moderată-bună
4Y	PA	Poliamidă	1,02...1,01	30	10^{15}	$2x10^{-2}$ ...$1x10^{-3}$	-60 +105	+125	210	inflamabilă	27...31	0,23	10	da	bună	bună
5Y	PTFE	Politetrafluor-etilenă (teflon)	2,0...2,3	20	10^{18}	$3x10^{-4}$	-190 +260	+300	>325	auto-stingere	5	0,26	0,1	nu	foarte bună	foarte bună
9Y	PP	Polipropilenă	0,91	75	10^{16}	$4x10^{-4}$	-10...+100	+140	160	inflamabilă	42...44	0,19	10	da	moderată	bună
10Y	PVDF	Fluorură de polivinil	1,7...1,9	25	10^{14}	$1,4x10^{-2}$	-40 +135	+160	>170	auto-stingere	15	0,17	10	nu	foarte bună	foarte bună
11Y	PUR	Poliuretan	1,15...1,2	20	10^{10} ...10^{12}	$2,3x10^{-2}$	-55 +80	+100	150	inflamabilă	20...26	0,25	100 (500)	da	foarte bună	foarte bună
12Y	PETP	Politeraftalat	1,4	15	10^{16}	$1,8x10^{-2}$	-100 +130	+300	200	inflamabilă	20...26	0,25	50	da	foarte bună	foarte bună
2X	VPE	Polietilenă	0,92	50	10^{12}...10^{16}	$2x10^{-3}$	-35..+90	+100	110	inflamabilă	1,7...1,9	0,3	100	da	bună	bună

Observații: HAL.=HALOGEN; R_d=Rigiditatea dielectrică; R_v=Rezistivitate de volum; θ_r=Temp. în regim de lucru; perm.=permanent; sd=de scurtă durată; θ_t=Temperatura de topire; C_t=Conductivitate termică.

II. Instalații electrice

Capitolul 14

Fiabilitatea instalațiilor electrice

14.1. Definiții

14.1.1. Noțiuni fundamentale

Fiabilitatea reprezintă aptitudinea unei entități de a îndeplini o cerință funcțională (o funcție specifică) în condiții date și de-a lungul unui interval de timp dat (definiție în conformitate cu Vocabularul Electrotehnic Internațional - VEI, publicația CEI 50 (191).

Se folosesc noțiunile de „fiabilitate în sens restrâns" și „fiabilitate în sens larg". Prima se referă la definiția fiabilității menționată anterior, iar cea de a doua la aspectele combinate de disponibilitate, fiabilitate (în sens restrâns), mentenabilitate și logistică de mentenanță.

Conform standardizării internaționale actuale (CEI 50 (191) se definesc:

Mentenabilitatea: aptitudinea unei entități de a fi menținută sau restabilită, în condiții de utilizare date, într-o stare în care să poată îndeplini o cerință funcțională, dacă mentenanța este realizată în condiții date, cu proceduri și resurse prescrise.

Mentenanță: ansamblul tuturor acțiunilor tehnice și administrative, inclusiv cele de supraveghere, destinate menținerii sau restabilirii unei entități într-o stare în care să poată îndeplini o cerință funcțională.

Disponibilitatea: aptitudinea unei entități de a fi într-o stare în care să poată îndeplini o cerință funcțională, în condiții date, la un moment dat sau într-un interval de timp dat, presupunând că resursele exterioare necesare în acest scop sunt asigurate.

Logistică de mentenanță: aptitudinea unui sistem (structură, organizație) de a putea oferi la cerere, în condiții date, resursele necesare pentru mentenanța unei entități, în conformitate cu o politică de mentenanță dată.

Siguranță de funcționare: ansamblul proprietăților unei entități care descriu disponibilitatea și factorii care o condiționează: fiabilitatea, mentenabilitatea și logistica de mentenanță.

Fiabilitatea, mentenabilitatea și disponibilitatea sunt măsurabile, în timp ce mentenanța, logistica de mentenanță și siguranța de funcționare sunt noțiuni generale, fără caracter cantitativ.

Noțiunea „entitate" folosită în definițiile anterioare are un sens mult mai larg și permite extinderea aplicării teoriei fiabilității și asupra serviciilor, software-ului, organismelor și organizațiilor, mediului ambiant, activităților, persoanelor și chiar ambianței sociale, politice și culturale.

14.1.2. Alte noțiuni legate de fiabilitate

Cele mai importante noțiuni utilizate curent în studiul fiabilității sunt:

- Defectare: încetarea aptitudinii unei entități de a-și îndeplini cerința funcțională (funcția specificată); alt termen utilizat: defecțiune. Defectarea este un eveniment care constă în trecerea din starea de funcționare în cea de defect.

Defectarea poate fi, în general, de mai multe feluri:

- inopinată (neprevăzută, bruscă, care nu poate fi prevăzută prin examinare sau supraveghere anterioară),
- progresivă (treptată), parțială, totală (care conduce la o inaptitudine totală de satisfacere a cerințelor funcționale ale entității),
- primară,
- secundară,
- majoră,
- inerentă,
- intermitentă ș.a.

Se iau în considerare numai defectările care sunt simultan inopinate și totale, denumite și catalectice (sau catastrofice). Defectările catalectice nu trebuie confundate cu defectările critice care pot provoca răniri de persoane, pagube materiale importante sau alte consecințe inacceptabile.

- Stare de funcționare - atunci când entitatea îndeplinește cerința funcțională.
- Stare de nefuncționare - atunci când entitatea nu îndeplinește cerința funcțională.
- Stare de defect (pană) - atunci când entitatea este inaptă de a îndeplini o cerință funcțională, excluzând inaptitudinea datorată mentenanței preventive sau altor acțiuni programate sau lipsei unor resurse exterioare.
- Mentenanță preventivă (întreținere) - atunci când este efectuată la intervale predeterminate sau conform unor criterii prescrise și destinată micșorării probabilității de defectare sau de degradare a funcționării unei entități.
- Stare de disponibilitate - atunci când entitatea este caracterizată prin aptitudinea acesteia de a îndeplini o cerință funcțională, presupunând că resursele exterioare, eventual necesare, sunt asigurate.
- Stare de așteptare (stand-by) - atunci când entitatea este disponibilă și în stare de nefuncționare.
- Stare de indisponibilitate: atunci când entitatea este caracterizată prin defect, fie prin inaptitudine eventuală de a îndeplini o cerință funcțională pe durata întreținerii.

Se mai pot defini și alte stări ale unei entități:

- liberă,
- ocupată,
- de incapacitate,
- de incapacitate externă,
- critică etc.

- Restabilire - recuperarea aptitudinii unei entități de a îndeplini o cerință funcțională după o defectare. Restabilirea se poate realiza, în general, prin reparare, înlocuire, intrarea în funcțiune a unei rezerve, reconfigurarea unei scheme.

După o defectare nu urmează totdeauna o restabilire, existând situații în care restabilirea nu este posibilă și situații în care restabilirea nu este necesară sau poate fi amânată. În consecință, teoria actuală a fiabilității cuprinde caracteristici de fiabilitate și modele matematice specifice (în afara celor comune) funcționării entităților cu restabilire și fără restabilire.

Funcționarea fără restabilire este întâlnită și sub denumirea de „funcționare neîntreruptă", „funcționare fără defectare", „funcționare până la defectare" sau „funcționare între două defectări".

- Ameliorarea fiabilității - acțiune destinată îmbunătățirii fiabilității prin eliminarea cauzelor defectărilor sistematice și/sau prin reducerea probabilității de apariție a altor defectări.
- Creșterea fiabilității - ameliorarea progresivă a unui indicator de fiabilitate al unei entități în timp.
- Managementul fiabilității și mentenabilității - pentru funcțiunile și activitățile destinate definirii și realizării obiectivelor de fiabilitate și mentenabilitate ale unei entități.

Vocabularul fiabilității cuprinde, în prezent, un număr de peste 350 de noțiuni cu definiții normalizate (standardizate) internațional la care se adaugă și alte noțiuni folosite în mod curent și care nu sunt, în prezent, definite prin normele internaționale.

14.2. Evaluarea fiabilității

14.2.1. Evaluarea fiabilității în sens restrâns

Se presupune, în general, că entitatea este în stare de îndeplinire a cerinței funcționale la începutul intervalului de timp dat.

Funcția care exprimă nivelul de fiabilitate, conform acestei definiții, se notează cu $R(t_1, t_2)$, unde (t_1, t_2) este intervalul de timp dat. Se poate conveni, în general, că $t_1 = 0$. În acest caz, notând cu t lungimea intervalului (t_1, t_2), se poate scrie $R(t_1, t_2) = R(0,t) = R(t)$, ultima notație fiind cea mai uzuală.

Conform definiției, se poate scrie:

$$R(t) = P(T_f \geq t) \qquad (14.2.1)$$

unde:

T_f - este durata (timpul) de funcționare până la defectare, [s].

Mărimea T_f este o variabilă aleatoare continuă. Funcția $R(t)$ se numește funcție de fiabilitate. Este o funcție monoton descrescătoare și evident $R(0) = 1$ și $\lim_{t\to\infty} R(t) = 0$;

Funcția $F(t) = 1 - R(t) = 1 - P(T_f \geq t) = P(T_f < t)$ (14.2.2)

reprezintă conform teoriei probabilităților, funcția de repartiție a variabilei aleatoare T_f.

Durata de funcționare până la defectare reprezintă durata cumulată a timpilor de funcționare ai unei entități, după prima punere în stare de disponibilitate, până la apariția unei defectări.

Rata (instantanee) de defectare - limita, dacă există, a câtului dintre probabilitatea condiționată ca momentul T al defectării unei entități să fie cuprins într-un interval de timp dat $(t, t + \Delta t)$ și lungimea Δt a acestui interval, dacă Δt tinde către zero, cu condiția ca entitatea să fie în stare de îndeplinire a cerinței funcționale la începutul intervalului de timp.

Rata de defectare se notează cu $\lambda(t)$ și este dată de relația:

$$\lambda(t) = -\frac{R'(t)}{R(t)} = -\frac{d}{dt} \ln R(t) \qquad (14.2.3)$$

prin care se stabilește legătura directă între rata de defectare $\lambda(t)$ și funcția de fiabilitate $R(t)$.

Prin rezolvarea ecuației diferențiale (14.2.3) se obține funcția de fiabilitate:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \qquad (14.2.4)$$

Probabilitatea de funcționare în intervalul de timp (t_1, t_2), cu condiția ca entitatea să fie disponibilă la începutul intervalului este dată de relația:

$$R(t_1, t_2) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t)dt} \qquad (14.2.5)$$

Timpul mediu de funcționare până la defectare (MTTF) - media variabilei aleatoare „durată de funcționare până la defectare" definită anterior.

Timpul mediu de funcționare între defectări (MTBF) - media variabilei aleatoare „durată de funcționare între defectări" numită și „timp (durată) de bună funcționare".

Durata de funcționare între defectări - timpii cumulați de funcționare între două defectări consecutive ale unei entități reparate.

Se demonstrează că:

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt \qquad (14.2.6)$$

MTTF caracterizează fiabilitatea entităților nereparabile (fără restabilire).

MTBF caracterizează fiabilitatea entităților reparabile (cu restabilire).

Relația 14.2.6 este valabilă și pentru *MTBF*, în cazul entităților reparabile, dacă variabila aleatoare cu densitatea de probabilitate $f(t)$ este durata cumulată a timpilor de funcționare între două defectări.

Se folosesc uzual notațiile m sau $M(T_f)$ atât pentru *MTTF*, cât și pentru *MTBF*, astfel încât se poate scrie în general:

$$m = \int_0^\infty R(t)dt \qquad (14.2.7)$$

14.2.2. Evaluarea mentenabilității

• Funcția care exprimă nivelul de mentenabilitate se notează cu $M(t_1, t_2)$, unde (t_1, t_2) este intervalul de timp dat. La fel ca în cazul fiabilității, se poate conveni, în general, că $t_1 = 0$ și notând cu t lungimea intervalului (t_1, t_2), se poate scrie $M(t_1, t_2) = M(0, t) = M(t)$.

Conform definiției,

$$M(t) = P(T_r < t) \qquad (14.2.8)$$

unde:

T_r - este timpul (durata) de restabilire.

Mărimea T_r este, ca și T_f, o variabilă aleatoare continuă iar $M(t)$ poate fi numită și funcție de mentenabilitate. Se utilizează și notația T_d (d - defect).

Funcția $M(t)$ reprezintă chiar funcția de repartiție a variabilei aleatoare T_r.

• Rata (instantanee) de reparare. Se notează cu $\mu(t)$ limita, dacă există, a câtului probabilității condiționate de a termina o acțiune de mentenanță corectivă într-un interval de timp dat $(t, t + \Delta t)$ și lungimea Δt a acestui interval, dacă $\Delta t \to 0$, cu condiția ca acțiunea de mentenanță corectivă să fie în curs la începutul intervalului de timp.

• Mentenanța corectivă este cea efectuată după constatarea unui defect cu scopul restabilirii unei entități în stare de disponibilitate.

Pentru exprimarea analitică a lui $\mu(t)$ se poate proceda la fel ca în cazul lui $\lambda(t)$, astfel că:

$$\mu(t) = \frac{M'(t)}{1 - M(t)} \qquad (14.2.9)$$

Rezolvând ecuația diferențială (14.2.9) cu condiția inițială $M(0) = 0$, rezultă:

$$M(t) = 1 - e^{-\int_0^t \mu(t)dt} \qquad (14.2.10)$$

• Durata medie de reparare - media variabilei aleatoare timpul de reparare. Se notează cu MRT.

• Timpul de reparare - cel de mentenanță corectivă activă pe durata căruia sunt efectuate acțiunile de reparații asupra unei entități.

• Timpul de mentenanță corectivă activă - partea din timpul de mentenanță activă pe durata căruia este efectuată asupra unei entități o acțiune de mentenanță corectivă.

• Timpul de mentenanță activă - partea din timpul de mentenanță pe durata căruia o acțiune de mentenanță este efectuată asupra unei entități, manual sau automat, excluzând întârzierile logistice.

• Timpul de mentenanță - intervalul de timp pe durata căruia este efectuată, asupra unei entități, o acțiune de mentenanță, manual sau automat, cuprinzând întârzierile tehnice și întârzierile logistice.

• Timpul de mentenanță corectivă - partea din timpul de mentenanță, pe durata căruia sunt efectuate acțiunile de mentenanță corectivă asupra unei entități, cuprinzând întârzierile tehnice și întârzierile logistice inerente acestei mentenanțe.

• Întârzierile tehnice - ansamblul intervalelor de timp necesare pentru efectuarea acțiunilor tehnice auxiliare asociate acțiunilor de mentenanță propriu-zise.

• Întârzierile logistice - ansamblul intervalelor de timp de-a lungul cărora acțiunile de mentenanță nu pot fi efectuate din cauza necesității de a se procura resursele necesare acestor acțiuni excluzând întârzierile administrative.

Întârzierile logistice pot fi datorate, de exemplu, deplasărilor până la instalațiile nesupravegheate, așteptării pieselor de schimb, specialiștilor, aparatelor și echipamentelor pentru încercări și verificări, informațiilor necesare și realizării unor condiții de adaptare la mediul ambiant.

• Întârzierile administrative - ansamblul intervalelor de timp de-a lungul cărora acțiunile de mentenanță corectivă asupra unei entități în stare de defect (pană) nu pot fi efectuate din motive administrative.

• Durata medie de pană - media variabilei aleatoare timpul de pană.

• Timpul de pană (timpul de restabilire) - intervalul de timp în care o entitate este în stare de indisponibilitate ca urmare a unei defectări.

Durata medie de pană (restabilire) se notează cu *MTTR* (se mai folosesc notațiile m_r și $M(T_r)$ și este:

$$MTTR = \int_0^\infty [1 - M(t)]dt \qquad (14.2.11)$$

sau

$$MTTR = \int_0^\infty e^{-\int_0^t \mu(t)dt} \qquad (14.2.12)$$

14.2.3. Evaluarea disponibilității

• Disponibilitatea sau disponibilitatea instantanee reprezintă probabilitatea ca o entitate să fie în stare de a îndeplini o cerință funcțională, în condiții date, la un moment dat, cu condiția asigurării resurselor necesare exterioare. Se notează cu *A(t)*.

• Indisponibilitatea (instantanee) - probabilitatea ca o entitate să nu fie în stare de a îndeplini o cerință funcțională, în condiții date, la un moment dat, cu condiția ca resursele exterioare necesare să fie asigurate. Se notează cu *U(t)*.

• Disponibilitatea asimptotică - limita, dacă există, a disponibilității instantanee exprimată printr-o expresie matematică în care se face timpul să tindă către infinit. Se notează cu *A*.

• Indisponibilitatea asimptotică - limita, dacă există, a indisponibilității instantanee exprimată printr-o expresie matematică în care se face timpul să tindă către infinit. Se notează cu *U*.

• Disponibilitatea în regim permanent (staționar) - media în regim permanent (staționar) a disponibilității instantanee pe un interval de timp dat.

• Indisponibilitatea în regim permanent (staționar) - media în regim permanent (staționar) a indisponibilității instantanee pe un interval de timp dat.

• Durata medie de disponibilitate - media variabilei aleatoare timpul de disponibilitate. Se notează cu *TMD* sau *MUT*.

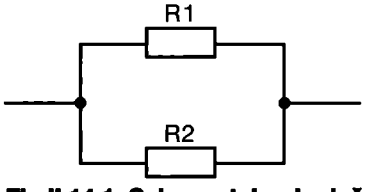


Fig.II.14.1. Schema tehnologică a unui circuit cu două rezistențe în paralel.

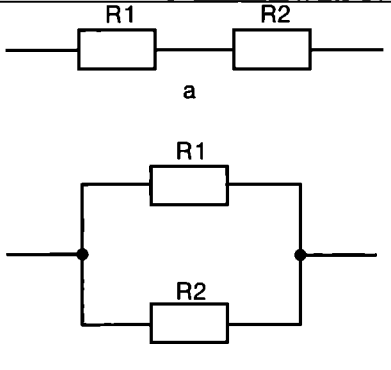


Fig. II.14.2. Schemele logice de fiabilitate ale circuitului paralel din fig. II.14.1:
a - schema serie;
b - schema paralel.

• Timpul de disponibilitate - intervalul de timp în care o entitate este în stare de disponibilitate.

• Durata medie de indisponibilitate - media variabilei aleatoare timpul de indisponibilitate. Se notează cu *TMI* sau *MDT*.

• Timpul de indisponibilitate - intervalul de timp în care o entitate este în stare de indisponibilitate.

• Durata medie totală de disponibilitate în perioada de referință *T* - media duratei cumulate a duratelor stărilor de disponibilitate într-un interval de timp dat *(0,T)*. Se notează cu $\alpha(T)$ și are relația:

$$\alpha(T) = \int_0^T A(t)dt \qquad (14.2.13)$$

• Durata medie totală de indisponibilitate în perioada de referință *T* - media duratei cumulate a duratelor stărilor de indisponibilitate într-un interval de timp dat *(0,T)*. Se notează cu $\beta(T)$ și se exprimă ca:

$$\beta(T) = \int_0^T \left[1 - A(t)\right]dt \qquad (14.2.14)$$

• Numărul mediu de stări de indisponibilitate în perioada de referință *T* - numărul mediu de treceri din stări de funcționare în stări de defect, în intervalul de referință *(0,T)*. Se notează cu $\nu(T)$ și este dat de relația:

$$\nu(T) = \frac{\beta(T)}{MTTR} = \frac{\beta(T)}{M[T_r]} = \frac{\beta(T)}{m_r} \qquad (14.2.15)$$

unde:
$M[T_r] = MTTR = m_r$ (diferite notații).

• Probabilitatea funcționării neîntrerupte într-un interval de timp $(t, t+x)$ - probabilitatea ca o entitate aflată în stare de disponibilitate la momentul t să rămână în această stare în intervalul de timp $(t, t+x)$. Aceasta se mai numește și funcția de fiabilitate pe interval. Se notează $S(x)$ sau $R(t, t+x)$ și este dată de relația:

$$R(t, t+x) = A(t) \cdot R(x) \qquad (14.2.16)$$

14.3. Metode, modele și procedee pentru determinarea fiabilității instalațiilor

Noțiunea de instalație se consideră sinonimă cu cea de sistem, iar cea de componentă a instalației se consideră sinonimă cu cea de element al sistemului.

14.3.1. Modelul structural pentru calculul fiabilității instalațiilor

Schema logică de fiabilitate

Se elaborează sub forma unei rețele (în general, dar nu obligatoriu, neorientată), în care sunt reprezentate numai elementele care influențează fiabilitatea sistemului. Reprezentarea acestora se face, de obicei, prin dreptunghiuri, indiferent de simbolurile și funcțiunile din schema tehnologică, iar legăturile dintre elementele din schema logică nu reprezintă conductele de legătură din schema tehnologică, ci modul de conectare a elementelor din schema tehnologică din punctul de vedere al fiabilității.

O excepție se întâlnește în cazul schemelor logice de fiabilitate ale instalațiilor electrice de distribuție în care, din motive practice, sistemele de bare din stațiile de transformare și/sau distribuție se pot prezenta și cu aceleași simboluri ca în schemele tehnologice (în loc de dreptunghiuri).

Pentru alcătuirea schemei logice de fiabilitate, se pornește de la cerința funcțională și se analizează defectările posibile, rezultând elementele a căror defectare poate contribui la încetarea îndeplinirii cerinței funcționale. Trebuie precizat că pot exista elemente a căror defectare nu conduce la defectarea sistemului (instalației), elemente a căror defectare conduce la defectarea sistemului, toate celelalte elemente fiind în stare de funcționare, precum și elementele a căror defectare conduce la defectarea sistemului numai dacă, simultan cu ele, sunt în stare de defect și alte elemente. Un același element poate fi în oricare din cele trei categorii corespunzător definirii cerinței funcționale, fapt deosebit de important care trebuie avut în vedere la întocmirea schemei tehnologice de fiabilitate.

Elementele din prima categorie se mai numesc neesențiale sau irelevante, iar cele din ultimele două categorii, esențiale sau relevante.

Se precizează două aspecte importante:
- schema logică de fiabilitate se regăsește în literatura de specialitate sub o mare diversitate de denumiri, dintre care se menționează: schema echivalentă de fiabilitate, schema echivalentă de calcul, diagrama de fiabilitate, diagrama bloc, modelul logic de fiabilitate, schema logică pentru calculul fiabilității, model structural pentru calculul fiabilității sistemelor, schema funcțională etc.;
- schema logică de fiabilitate nu este unicul model structural pentru calculul fiabilității sistemelor; modelul structural pentru calculul fiabilității sistemelor face parte din „formalizarea logică a sistemelor" prin a cărei transpunere matematică se obțin modelele de calcul al fiabilității.

Exemplul 1. Se alcătuiește schema logică de fiabilitate a instalației electri-

ce din fig. II.14.1 în care R_1 și R_2 reprezintă rezistențe electrice.

Soluție. Starea de funcționare (cerința funcțională) poate fi definită în acest caz în 2 feluri:

a - existența în stare de funcționare a ambelor rezistențe R_1 și R_2;

b - existența în stare de funcționare a cel puțin uneia din rezistențele R_1 și R_2.

S-a convenit că în cazul a) schema logică de fiabilitate să fie reprezentată prin schema din fig. II.14.2 a, iar în cazul (b) prin cea din fig. II.14.2 b. Această convenție folosită în teoria fiabilității sistemelor a fost inspirată de schemele din electrotehnică. S-au adoptat pentru schemele logice de fiabilitate din fig. II.14.2 și denumirile de schemă „serie" (a) respectiv „paralel" (b).

Se constată că în funcție de definirea cerinței funcționale schema logică are diferite aspecte putând să coincidă sau nu cu schema tehnologică.

Referitor la exemplul ales, trebuie precizat că este necesară și analizarea defectărilor posibile. Astfel, cele expuse sunt valabile în cazul în care defectarea uneia din rezistențe constă în întreruperea ei și nu sunt valabile în cazul în care defectarea unei rezistențe constă în scurtcircuitarea ei. În cazul acestui din urmă tip de defectare, starea de funcționare trebuie definită numai ca la subpunctul (a) și schema logică de fiabilitate va fi cea din fig. II.14.2 a, deci schema logică de fiabilitate va fi de tip serie față de schema tehnologică, care este de tip paralel din punct de vedere electric.

14.3.2. Ipoteze simplificatoare

a - Ipoteza funcției de repartiție exponențială pentru variabilele aleatoare T_f și T_r.

Exprimarea analitică a funcțiilor de repartiție ale variabilelor aleatoare T_f și T_r este o problemă centrală a teoriei fiabilității. Aplicațiile practice ale dezvoltărilor și abstractizărilor din teoria actuală a fiabilității sistemelor sunt, în cazul instalațiilor electrice, relativ reduse la cele în care se folosește ipoteza exponențialității repartițiilor lui T_f și T_r și, într-o măsură mai mică, a repartiției Weibull pentru T_r.

Pentru timpul de funcționare fără defectare T_f, expresia analitică a funcției de repartiție exponențială (sau „exponențială negativă") este:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (14.3.1)$$

iar pentru timpul de restabilire T_r:

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (14.3.2)$$

În cazul repartiției Weibull pentru T_r

$$F(t)=1-\alpha\cdot e^{-\mu t^{\beta}} \quad (14.3.3)$$

Conform relațiilor 14.2.2 și 14.2.8 rezultă:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (14.3.4)$$

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (14.3.5)$$

sau

$$M(t) = 1 - \alpha\cdot e^{-t\beta} \quad (14.3.6)$$

În cele ce urmează se vor considera admise ca ipoteze relațiile 14.3.4 și 14.3.5 în toate cazurile în care nu se va specifica contrariul.

Din relațiile 14.2.3 și 14.2.9 rezultă:

$$\lambda(t) = \frac{\frac{d}{dt}e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda = constant \quad (14.3.7)$$

$$\mu(t) = \frac{\frac{d}{dt}\left(1-e^{-\mu t}\right)}{1-\left(1-e^{-\mu t}\right)} = \mu = const. \quad (14.3.8)$$

iar din relațiile 14.2.6 și 14.2.11 rezultă:

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t}dt = \frac{1}{\lambda} \quad (14.3.9)$$

$$MTTR = \int_0^{\infty}\left[1-\left(1-e^{-\mu t}\right)\right]dt = \frac{1}{\mu} \quad (14.3.10)$$

Astfel se pot obține și expresiile analitice ale disponibilității instantanee $A(t)$ și disponibilității asimptotice A în această ipoteză.

Dacă la $t = 0$ entitatea este în stare de funcționare $A(0) = 1$ se demonstrează că:

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu}\cdot e^{-(\lambda+\mu)\cdot t} \quad (14.3.11)$$

Disponibilitatea asimptomatică rezultă:

$$A = \lim_{t\to\infty} A(t) = \mu/(\lambda+\mu) \quad (14.3.12)$$

Conform relațiilor 14.3.9 și 14.3.10, se poate scrie:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \quad (14.3.13)$$

Conform relațiilor 14.2.13-16, rezultă:

$$\alpha(t) = A\cdot T = \frac{\mu}{\lambda+\mu}\cdot T \quad (14.3.14)$$

$$\beta(t) = (1-A)\cdot T = \frac{\lambda}{\lambda+\mu}\cdot T \quad (14.3.15)$$

$$\nu(t) = \frac{(1-A)\cdot T}{\frac{1}{\mu}} = \frac{\lambda\mu}{\lambda+\mu}\cdot T \quad (14.3.16)$$

$$R(t,t+x) = A(t)\cdot R(x) = \frac{\mu}{\lambda+\mu}\cdot e^{\lambda\cdot x} \quad (14.3.17)$$

b - Ipoteza elementelor independente din punct de vedere al probabilității de defectare

Defectarea unui element al sistemului nu influențează probabilitățile de defectare ale celorlalte elemente.

Se consideră admisă ipoteza datorită următoarelor considerente:

- diferențele de rezultate din calcule, în urma a numeroase verificări, în cazul schemelor de instalații electrice, sunt nesemnificative față de cazul în care elementele sunt considerate „dependente" din punct de vedere al probabilităților de defectare;
- prin admiterea acestei ipoteze se simplifică relațiile de calcul și se reduce semnificativ volumul de calcule.

c - Ipoteza limitării numărului de stări ale unei entități

Din punctul de vedere al metodelor și procedeelor pentru calculul fiabilității, entitățile se pot afla în numai 2 stări: stare de funcționare și stare de defect (pană), definite în § 14.2, cu excepția cazurilor în care se precizează, în mod expres, considerarea și a altor stări, definite sau nu în § 14.2.

Este necesară precizarea faptului că, în paragraful de mai sus, nu este vorba de numărul de stări ale unui sistem, rezultate ca urmare a stărilor fiecărui element component. Aceste stări sunt în număr 2^n (n fiind numărul componentelor relevante ale sistemului) și sunt, la rândul lor, fie stări de funcționare fie stări de defect.

d - Ipoteza limitării numărului de tranziții posibile într-un interval de timp dat

Necesitățile teoretice (în cazul modelului proceselor stocastice) și practice (în cazul procedeului grupurilor de defectare) au condus la admiterea următoarelor două ipoteze:

- probabilitatea producerii simultane a două sau mai multe evenimente de tipul defectărilor (catalectice) sau restabilirilor, într-un interval de timp elementar, este neglijabilă;
- probabilitatea ca într-un interval de timp finit, în care o instalație are un element relevant defect, să se defecteze mai mult decât încă un element relevant se poate neglija. Această ipoteză este cunoscută în literatura de specialitate și sub denumirea de ipoteza neglijării probabilității defectelor triple sau cu ordin de multiplicitate mai mare. Ipoteza, deși nu întotdeauna conformă cu realitatea, este extrem de utilă în rezolvarea practică a problemelor de fiabilitate pentru sistemele complexe și/sau mari. În situațiile în care, din motive evidente, ipoteza nu corespunde realității, se recomandă fie acceptarea ei însoțită, după necesități, de evaluarea erorii introduse, fie utilizarea unor modele, metode sau formule care nu presupun îndeplinirea acestei ipoteze.

e - Ipoteza neglijării tranzițiilor din stări de defect în stări de defect

Se consideră că se poate neglija probabilitatea defectării unui element al unui sistem în perioada în care siste-

mul este în stare de defect. În această perioadă sistemul (instalația) nu este supus decât acțiunilor mentenanței corective, în care principalele alternative ale sistemului sunt de a se restabili sau de a rămâne în starea în care se află. Practic, este posibil să se defecteze, în unele cazuri foarte rare, încă un alt element în perioada în care sistemul nu funcționează, dar probabilitatea unui astfel de eveniment se poate, prin ipoteză neglija. Această ipoteză conduce la avantaje privind reducerea și sistematizarea calculelor.

Verificările făcute prin realizarea calculelor cu sau fără acceptarea acestei ipoteze au confirmat validitatea ei. Există însă și cazuri în care nu este nici necesar și nici util să se ia în considerare această ipoteză, cazuri care vor fi menționate explicit. Ca regulă generală, ipoteza va fi în cele ce urmează acceptată.

f - Ipoteza valorilor, relativ, mari ale timpului de funcționare față de timpul de defect

O instalație, pentru care timpul de funcționare nu este suficient de mare, față de timpul de defect, nu poate prezenta interes pentru beneficiari din cauza nonfiabilității. Este important însă să se cunoască unele informații și consecințe suplimentare din acest punct de vedere.

Experiența practică arată că instalațiile fac parte din sistemele numite de înaltă fiabilitate. Pentru aceste sisteme se consideră, de obicei, că raportul *MTTF/MTTR* are valori în jur de 100 și mai mari. În cazuri cu totul izolate, se pot întâlni valori între 50...100.

Se cunoaște că durata după care disponibilitatea unei entități se poate considera în regim staționar, respectiv, independentă de timp și aproximativ egală cu disponibilitatea asimptotică are un ordin de mărime de câteva durate medii de defect *(MTTR)*. În ipoteza *MTTF / MTTR > 50...100* rezultă că după o durată de timp, în general, mai mică decât a zecea parte din *MTTF*, se poate considera disponibilitatea independentă de timp, fapt care echivalează și cu independența de timp a probabilităților absolute ale stărilor unui sistem. Ca urmare, sistemul de ecuații diferențiale pentru determinarea indicatorilor de fiabilitate prin modelul proceselor stocastice de tip Markov (§ 14.3.3) se transformă într-un sistem de ecuații algebrice liniare.

14.3.3. Modelarea funcționării instalațiilor prin procese stocastice de tip Markov

Procesele stocastice de tip Markov (sau procesele Markov) sunt cele fără postacțiune (pentru care starea procesului la un moment dat este complet determinată de ultima stare cunoscută).

În cazul instalațiilor, variabila aleatoare este starea instalației, iar argumentul este timpul.

Prin lanț Markov se înțelege un proces Markov în care variabila aleatoare poate lua numai valori discrete aparținând unui șir, numite, de obicei, stări. Corespunzător șirului finit sau infinit, lanțul Markov se numește finit sau infinit.

În funcție de natura valorilor pe care le poate lua argumentul, lanțurile Markov pot fi cu argument continuu sau discret.

Lanțurile Markov finite sunt descrise direct de așa numitele probabilități de tranziție (trecere).

Probabilitatea de tranziție admite ca variabila aleatoare $X(t)$ să ia valoarea x_j pentru valoarea argumentului t_l dacă a avut valoarea x_i pentru valoarea argumentului t_k:

$$p_{ij}(t_k, t_l) = p\{x(t_l) = x_j \cdot x(t_k) = x_i\} \quad (14.3.18)$$

Prin lanț Markov finit și omogen probabilitățile de tranziție nu sunt afectate de o tranziție a argumentului, adică

$$p_{ij}(t_k + \alpha, t_l + \alpha) = p_{ij}(t_k, t_l) \quad (14.3.19)$$

ceea ce permite să se utilizeze o notație simplificată

$$p_{ij}(t_k, t_l) = p_{ij}(t_l) = p_{ij}(t) \quad (14.3.20)$$

care nu poate da naștere la confuzii dacă, prin t, se înțelege totdeauna valoarea cea mai mare a argumentului din cele corespunzătoare stărilor i și j.

Pentru analiza fiabilității instalațiilor este adecvat modelul lanțurilor Markov finite și omogene cu argument continuu (timpul).

Problema constă în determinarea probabilităților celor m stări posibile ale instalației la un moment oarecare t.

Acestea se notează cu $P_1(t)$, $P_2(t)$,..., $P_m(t)$ și se numesc probabilități absolute ale procesului stocastic. Pentru determinarea lor este necesară cunoașterea stării inițiale a instalației și a matricii probabilităților de tranziție.

Starea inițială și matricea probabilităților de tranziție determină complet lanțul Markov finit și omogen.

Notând cu:

$\|P_i(t)\|$ - matricea probabilităților absolute

$$\|P_i(t)\| = \|P_1(t) P_2(t) \dots P_m(t)\| \quad (14.3.21)$$

starea inițială va fi caracterizată de

$$\|P_i(0)\| = \|P_1(0) P_2(0) \dots P_m(0)\| \quad (14.3.22)$$

Notând cu:

$\|p_{ij}(t)\|$ - matricea probabilităților de tranziție

$$\|p_{ij}(t)\| = \begin{vmatrix} p_{00}(t) & p_{01}(t) & p_{0,m-1}(t) \\ p_{10}(t) & p_{11}(t) & p_{1,m-1}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{m-1,0}(t) & p_{m-1,1}(t) \dots & p_{m-1,m-1}(t) \end{vmatrix} \quad (14.3.23)$$

problema care se pune este determinarea valorilor $\|p_i(t)\|$,

fiind cunoscute valorile $\|p_i(0)\|$

și matricea $\|p_{ij}(t)\|$.

Întrucât probabilitățile de tranziție corespund evenimentelor unui sistem complet, se poate scrie:

$$\sum_j p_{ij}(t) = 1 \quad (14.3.24)$$

de unde, introducând notația:

$$p_{ij}(0) = q_{ij} \quad (14.3.25)$$

rezultă:

$$\sum_j p'_{ij}(0) = 0 = \sum_j q_{ij} \quad (14.3.26)$$

$$q'_{ij} = -\sum_{j \neq i} q_{ij} \quad (14.3.27)$$

$$P'(t) = q_{ii} \cdot P_i(t) + \sum_{j \neq i} P_j(t) \cdot q_{ji} \quad (14.3.28)$$

este relația fundamentală pentru aplicațiile teoriei lanțurilor Markov finite și omogene în calculele de analiză a fiabilității sistemelor. Mărimile q_{ij} se numesc intensități de tranziție.

Relația 14.3.28 reprezintă un sistem de ecuații diferențiale a cărui soluție reprezintă soluția problemei propuse, adică determinarea probabilităților absolute ale stărilor sistemului în funcție de stările componentelor și de intensitățile de tranziție între stări.

Prin particularizarea lui i și j, relația 14.3.28 se poate scrie sub forma matriceală:

$$\|P'_i(t)\| = \|P_j(t)\| \cdot \|q_{ji}\| \quad (14.3.29)$$

sau sub forma echivalentă

$$\|P'_i(t)\| = \|P_i(t)\| \cdot \|q_{ij}\| \quad (14.3.30)$$

Ținând cont de relația 14.3.25 se mai poate scrie:

$$\|P'_i(t)\| = \|P_i(t)\| \cdot \|p'_{ij}(0)\| \quad (14.3.31)$$

ceea ce reprezintă un sistem de ecuații diferențiale a cărui rezolvare cu ajutorul transformatei Laplace conduce la găsirea probabilităților absolute ale procesului, în funcție de probabilitățile de tranziție.

Pentru compatibilitate, întrucât $\sum p_{ij} = 1$,

se adaugă la sistemul 14.3.31 și

ecuația:

$$\sum P_i(t) = 1 \qquad (14.3.32)$$

Pentru valori relativ mari ale timpului t, procesul Markov devine staționar (ipoteza f din subcapitolul precedent), probabilitățile absolute ale stărilor devin independente de timp, iar derivatele lor, în raport cu timpul, se anulează, așa încât se poate scrie:

$$\|P_i\| \cdot \|p'_{ij}(0)\| = 0 \qquad (14.3.33)$$

sau

$$\|P_i\| \cdot \|q_{ij}\| = 0 \qquad (14.3.34)$$

ceea ce reprezintă un sistem de ecuații algebrice liniare la care, pentru compatibilitate, întrucât $\Sigma q_{ij} = 0$, se adaugă relația

$$\Sigma P_i = 1 \qquad (14.3.35)$$

Pentru exemplificare se consideră 2 cazuri simple:

Exemplul 1. Cazul unei entități care evoluează în două stări. Se notează cele 2 stări cu 0 - starea de funcționare și 1 - starea de defect (această notație se va utiliza în continuare în toate cazurile în care nu se va specifica altfel).

Probabilitățile de tranziție sunt:

$$p_{00}(t) = R(t) = e^{-\lambda t} \qquad (14.3.36)$$
$$p_{01}(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t} \qquad (14.3.37)$$
$$p_{10}(t) = M(t) = 1 - e^{-\mu t} \qquad (14.3.38)$$
$$p_{11}(t) = 1 - M(t) = e^{-\mu t} \qquad (14.3.39)$$

Se observă că probabilitățile de tranziție depind de lungimea intervalului $(0, t)$.

Intensitățile de tranziție corespunzătoare rezultă conform relației 14.3.25:

$$q_{00} = -\lambda \qquad (14.3.40)$$
$$q_{01} = \lambda \qquad (14.3.41)$$
$$q_{10} = \mu \qquad (14.3.42)$$
$$q_{11} = -\mu \qquad (14.3.43)$$

iar sistemul 14.3.30 se scrie

$$\|P'_0(t) \cdot P'_1(t)\| = \|P_0(t) \cdot P_1(t)\| \cdot \begin{vmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{vmatrix}$$

la care se adaugă, pentru compatibilitate, relația 14.3.32

$P_0(t) + P_1(t) = 1$

și rezultă ecuația diferențială:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} + (\lambda + \mu) \cdot P_0(t) - \mu = 0 \qquad (14.3.44)$$

în care:

$A(t) = P_0(t)$.

Exemplul 2. Cazul unei entități care funcționează până la prima defectare.

Este cazul unei entități care, după defectare, nu se mai repară (restabilește), respectiv, rămâne definitiv în starea de defect. O astfel de stare se numește absorbantă. Probabilitățile de tranziție dintr-o stare absorbantă în orice altă stare vor fi nule, iar probabilitatea de rămânere în această stare este 1.

Procedând ca în exemplul precedent, se găsește:

$$q_{00} = -\lambda$$
$$q_{01} = \lambda$$
$$q_{10} = 0 \qquad (14.3.45)$$
$$q_{11} = 1 \qquad (14.3.46)$$

$$\|P'_0(t)\ P'_1(t)\| = \|P_0(t)\ P_1(t)\| \cdot \begin{vmatrix} -\lambda & \lambda \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = 0$$

relație identică cu relația 14.2.3 pentru $\lambda(t) = \lambda = constant$ în cazul ipotezei funcției de repartiție exponențială a lui T_f, deoarece, evident, conform definiției:

$P_0(t) = R(t)$

Prin rezolvarea ecuației diferențiale se obține:

$$P_0(t) = e^{-\lambda t} = R(t) \qquad (14.3.47)$$

Pentru o instalație cu restabilire, indicatorii de fiabilitate utilizați frecvent sunt $A(t)$, $\alpha(T)$, $\beta(T)$, $\nu(T)$, m și m_r.

Acești indicatori se determină în cazul proceselor nestaționare cum s-a arătat mai sus, cu ajutorul sistemului format de ecuațiile 14.3.30 și 14.3.32. în modul următor:

$A(t)$ rezultă prin însumarea probabilităților absolute, obținute prin rezolvarea sistemului 14.3.30, 14.3.32 pentru toate stările care corespund stării de funcționare a instalației.

$$A(t) = \sum_{k \in F} P_k(t) \qquad (14.3.48)$$

unde cu F s-a notat mulțimea stărilor de funcționare.

Indicatorii $\alpha(T)$ și $\beta(T)$ rezultă imediat din relațiile:

$$\alpha(T) = \int_0^T \sum_{k \in F} P_k(t)\,dt \qquad (14.3.49)$$

$$\beta(T) = \int_0^T \left[1 - \sum_{k \in F} P_k(t)\right] dt \qquad (14.3.50)$$

Pentru determinarea celorlalți indicatori $\nu(T)$, m și m_r este necesar să se analizeze matricea $\|q_{ij}\|$.

Pentru a se determina numărul de defectări în intervalul de timp $(0, T)$, se poate scrie:

$$\nu(T)_k = \int_0^T P_k(t) \cdot \sum_{l \in D} q_{kl}\,dt \qquad (14.3.51)$$

unde prin D s-a notat mulțimea stărilor de defect.

Pentru întregul sistem trebuie însumate expresiile de mai sus, pentru toate stările de funcționare rezultând:

$$\nu(T)_k = \sum_{k \in F} \nu(T)_k \qquad (14.3.52)$$

sau

$$\nu(T) = \sum_{k \in F} \sum_{l \in D} q_{kl} \cdot \int_0^T P_k(t)\,dt \qquad (14.3.53)$$

Indicatorii m și m_r rezultă din rapoartele:

$$m = \frac{\alpha(T)}{\nu(T)} \qquad (14.3.54)$$

$$m_r = \frac{\beta(T)}{\nu(T)} \qquad (14.3.55)$$

Pentru procesele staționare, probabilitățile absolute ale stărilor sunt independente de timp și relațiile de mai sus devin:

$$A = \sum_{k \in F} P_k \qquad (14.3.56)$$

$$\alpha(T) = \sum_{k \in F} P_k \cdot T \qquad (14.3.57)$$

$$\beta(T) = \left(1 - \sum_{k \in F} P_k\right) \cdot T \qquad (14.3.58)$$

$$\nu(T) = \sum_{k \in F} \sum_{l \in D} q_{kl} \cdot P_k \cdot T \qquad (14.3.59)$$

$$m = \frac{\sum_{k \in F} P_k}{\sum_{k \in F} \sum_{l \in D} q_{kl} \cdot P_k} \qquad (14.3.60)$$

$$m_r = \frac{1 - \sum_{k \in F} P_k}{\sum_{k \in F} \sum_{l \in D} q_{kl} \cdot P_k} \qquad (14.3.61)$$

relații prin care se pot determina direct, în funcție de probabilitățile absolute ale stărilor și elementelor matricii intensităților de tranziție, oricare din indicatorii sistemului, în ipotezele făcute.

Pentru rezolvarea concretă a problemelor de determinare a fiabilității instalațiilor cu ajutorul acestui model, trebuie parcurs următorul algoritm:

1. definirea cerinței funcționale din definiția fiabilității și disponibilității;
2. întocmirea modelului structural - schema logică de fiabilitate;
3. descrierea tuturor stărilor posibile ale instalației, în funcție de stările de funcționare sau de defect ale elementelor relevante din schema logică de fiabilitate;
4. gruparea stărilor posibile ale instalației în stări de funcționare (F) și de defect (D), conform cu cerința funcțională;
5. întocmirea graficului tranzițiilor posibile între stări;
6. întocmirea matricii intensităților de tranziție;
7. rezolvarea sistemului de ecuații 14.3.38, 14.3.40, respectiv, 14.3.42, 14.3.43, după cum procesul este nestaționar sau staționar;
8. calculul indicatorilor de fiabilitate și disponibilitate ceruți de problemă, funcție de probabilitățile absolute și intensitățile de tranziție.

14.3.4. Metoda elementelor echivalente din punctul de vedere al fiabilității

Pentru simplificarea calculelor se poate înlocui, în multe cazuri, o grupă de elemente componente ale unui sistem printr-un element echivalent din punctul de vedere al fiabilității. Condițiile de echivalare impun ca, pentru grupa de elemente echivalate și elementul echivalent, principalii indicatori de fiabilitate să fie aceeași.

În acest scop se poate înlocui o structură fiabilistică sau o parte a unei structuri, cu o altă structură fiabilistică, care să îndeplinească condițiile de echivalare de mai sus și ai cărei indicatori de fiabilitate să fie mai ușor de calculat cu metodele și procedeele cunoscute.

Un interes special îl prezintă, în practică, echivalarea unor structuri fiabilistice din categoria schemelor logice de fiabilitate cu câte un element echivalent.

Pentru o structură fiabilistică considerată ca o entitate, principalii indicatori de fiabilitate, în cazul instalațiilor cu restabilire, sunt dați de relațiile 14.3.9-10, 14.3.12, 14.3.14-16 care se pot rescrie și grupa conform scopului urmărit astfel:

$$A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \tag{14.3.62}$$

$$\alpha(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \cdot T \tag{14.3.63}$$

$$\beta(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot T \tag{14.3.64}$$

$$\nu(t) = \frac{\lambda\mu}{\lambda + \mu} \cdot T \tag{14.3.65}$$

$$m = \frac{1}{\lambda} \tag{14.3.66}$$

$$m_r = \frac{1}{\mu} \tag{14.3.67}$$

Analizând aceste relații se constată că indicatorii respectivi, pentru o anumită durată a intervalului de timp de funcționare T, se pot determina în funcție de numai două mărimi, λ și μ, în ipotezele considerate.

În consecință, pentru elementul echivalent al unei grupe de elemente, unei structuri fiabilistice sau unei părți dintr-o structură fiabilistică este suficient să se determine valori corespunzătoare pentru aceste două mărimi. În funcție de aceste valori se pot determina toți indicatorii de fiabilitate menționați ai elementului echivalent (care reprezintă o entitate în sensul conferit acestei noțiuni în § 1). Valorile căutate se notează cu λ_e și μ_e și nu mai au, în general, (cu excepția unor cazuri particulare) sensul fizic al lui λ și μ deoarece relațiile $m = 1/\lambda$ și $m_r = 1/\mu$ sunt proprii repartițiilor exponențiale pentru T_f și T_r, iar pentru elementul echivalent, funcțiile de repartiție pentru T_f și T_r depind de structura grupei de elemente echivalată. De aceea mărimile λ_e și μ_e trebuie considerate ca parametrii de calcul pentru elementul echivalent, cu semnificația valorilor inverse ale lui m și m_r. Cu aceste considerații, se poate scrie pentru elementul echivalent, ținând seama de relațiile menționate mai sus:

$$A = \frac{\mu_e}{\lambda_e + \mu_e} \tag{14.3.68}$$

$$\alpha(t) = \frac{\mu_e}{\lambda_e + \mu_e} \cdot T \tag{14.3.69}$$

$$\beta(t) = \frac{\lambda_e}{\lambda_e + \mu_e} \cdot T \tag{14.3.70}$$

$$\nu(t) = \frac{\lambda_e\mu_e}{\lambda_e + \mu_e} \cdot T \tag{14.3.71}$$

$$m = \frac{1}{\lambda_e} \tag{14.3.72}$$

$$m_r = \frac{1}{\mu_e} \tag{14.3.73}$$

Pentru determinarea lui λ_e și μ_e, o soluție practică este alegerea ecuațiilor reprezentate de expresiile A și $u(t)$, deoarece acești indicatori se determină, de obicei, cu prioritate, iar sistemul reprezentat de ecuațiile 14.3.68 și 14.3.71 este compatibil.

Rezultă:

$$\lambda_e = \frac{\nu(T)}{A \cdot T} \tag{14.3.74}$$

$$\mu_e = \frac{\nu(T)}{(1 - A) \cdot T} \tag{14.3.75}$$

Se pot determina și direct parametrii echivalenți, λ_e și μ_e în funcție de probabilitățile absolute și intensitățile de tranziție, înlocuind valorile lui $\nu(t)$ și A cu cele din relațiile 14.3.59 și 14.3.56

$$\lambda_e = \frac{\sum_{k \in F} \sum_{l \in D} q_{kl} \cdot P_k}{\sum_{k \in F} P_k} \tag{14.3.76}$$

$$\mu_e = \frac{\sum_{k \in F} \sum_{l \in D} q_{kl} \cdot P_k}{1 - \sum_{k \in F} P_k} \tag{14.3.77}$$

și în continuare, cu ajutorul relațiilor 14.3.68-73, se determină indicatorii ceruți în problema respectivă.

Acest ultim mod de abordare a problemei prezintă avantajul necesității determinării a numai 2 parametrii de calcul în loc de 6 indicatori în problemele în care nu se poate preciza, de la început, care sunt indicatorii ceruți sau în problemele în care se cer toți indicatorii.

În problemele în care nu se cer $\nu(t)$, m și m_r, este mai avantajoasă metoda soluției generale (§ 14.3.5).

14.3.5. Metoda soluției generale

a - *Metoda soluției generale pentru analiza fiabilității instalațiilor cu restabilire*

Derivă din metoda modelării prin procese stocastice de tip Markov (§ 3) și se bazează pe generalizarea scrierii relațiilor pentru determinarea probabilităților absolute ale stărilor, rezultate în urma rezolvării sistemului de ecuații 14.3.34, 14.3.35. Prin această generalizare se evită necesitatea rezolvării sistemului de ecuații.

Metoda este foarte utilă, în special, în cazurile în care nu se cere determinarea numărului mediu de defectări $\nu(T)$, deoarece nu este nevoie, în acest caz, de întocmirea grafului tranzițiilor și / sau a matricii intensităților de tranziție.

Metoda presupune satisfacerea ipotezelor din § 14.2.

Forma generală a soluțiilor pentru probabilitățile absolute ale stărilor sistemului se poate obține, în ipotezele admise, cu ajutorul regulii de înmulțire a probabilităților evenimentelor independente, ținând seama de faptul că se poate scrie:

$$U = 1 - A \tag{14.3.78}$$

iar conform relației 14.3.12 rezultă:

$$U = 1 - \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \tag{14.3.79}$$

de unde pentru o entitate:

$$\frac{U}{A} = \frac{\lambda}{\mu} \tag{14.3.80}$$

iar pentru elementul (entitatea) i:

$$\frac{U_i}{A_i} = \frac{\lambda_i}{\mu_i} \tag{14.3.81}$$

Dacă se notează cu P_0, P_1,...,P_{2^n-1} probabilitățile celor 2^n stări ale sistemului, conform relației 14.3.81 acestea se poate scrie și sub forma:

$$P_0 = \prod_{i=1}^{n} A_i = \prod_{i=1}^{n} \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \tag{14.3.82}$$

$$P_1 = P_0 \cdot \frac{U_1}{A_1} = P_0 \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1} \tag{14.3.83}$$

$$P_2 = P_0 \cdot \frac{U_2}{A_2} = P_0 \cdot \frac{\lambda_2}{\mu_2} \tag{14.3.84}$$

$$P_{n-2} = P_0 \cdot \frac{U_{n-2}}{A_{n-2}} = P_0 \cdot \frac{\lambda_{n-2}}{\mu_{n-2}} \tag{14.3.85}$$

$$P_{2^{n}-2} = P_0 \cdot \frac{U_2 \cdot U_3 \cdot \ldots \cdot U_{n-2} \cdot U_{n-1} \cdot U_n}{A_2 \cdot A_3 \cdot \ldots \cdot A_{n-2} \cdot A_{n-1} \cdot A_n} = P_0 \cdot \frac{\lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \ldots \cdot \lambda_{n-2} \cdot \lambda_{n-1} \cdot \lambda_n}{\mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \ldots \cdot \mu_{n-2} \cdot \mu_{n-1} \cdot \mu_n} \quad (14.3.86)$$

$$P_{2^{n}-1} = P_0 \cdot \frac{U_1 \cdot U_2 \cdot \ldots \cdot U_{n-2} \cdot U_{n-1} \cdot U_n}{A_1 \cdot A_2 \cdot \ldots \cdot A_{n-2} \cdot A_{n-1} \cdot A_n} = P_0 \cdot \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \ldots \cdot \lambda_{n-2} \cdot \lambda_{n-1} \cdot \lambda_n}{\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \ldots \cdot \mu_{n-2} \cdot \mu_{n-1} \cdot \mu_n} \quad (14.3.87)$$

În continuare, se determină A, $\alpha(T)$ și $\beta(T)$ cu relațiile 14.3.56, 14.3.57 și 14.3.58. Pentru $v(T)$, m și m_r, dacă se cer în problemă, este necesară folosirea algoritmului din § 14.3.3 (care pentru $n > 5$ necesită utilizarea calculului automat) sau a procedeului grupurilor de defectare.

b - *Metoda soluției generale pentru analiza fiabilității instalațiilor fără restabilire*

Pentru această categorie de instalații nu se pune problema determinării numărului mediu de defectări - funcționarea fiind luată în considerare numai până la defectare sau între defectări. În consecință, nu se pune problema întocmirii unui graf de tranziții între stări sau a unei matrici a probabilităților sau intensităților de tranziție între stări deoarece analiza se face pentru o singură stare, starea de funcționare. Evident, referirea este făcută la starea de funcționare a sistemului (instalației), elementele componente se pot afla, fiecare, atât în stare de funcționare cât și în stare de defect.

Probabilitățile absolute ale stărilor se pot determina, ca și în cazul funcționării, cu restabilire prin regula de înmulțire a probabilităților evenimentelor independente pentru fiecare stare din „tabelul stărilor", identic cu cel din figura II.14.1, cu excepția expresiilor probabilităților stărilor. În continuare, se determină funcția de fiabilitate a sistemului prin însumarea probabilităților stărilor de funcționare.

Dacă se introduce notația:

$Q_i(t) = 1 - R_i(t)$,

se obțin următoarele expresii pentru probabilitățile celor 2^n stări ale unui sistem a cărui schemă logică de fiabilitate conține n elemente relevante.

$$P_0(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t) \quad (14.3.88)$$

$$P_1(t) = P_0(t) \cdot \frac{Q_1(t)}{R_1(t)} \quad (14.3.89)$$

$$P_2(t) = P_0(t) \cdot \frac{Q_2(t)}{R_2(t)} \quad (14.3.90)$$

$$P_{2^{n}-2}(t) = P_0(t) \cdot \frac{Q_2(t) \cdot Q_3(t) \cdot \ldots \cdot Q_{n-1}(t) \cdot Q_n(t)}{R_2(t) \cdot R_3(t) \cdot \ldots \cdot R_{n-1}(t) \cdot R_n(t)} \quad (14.3.91)$$

$$P_{2^{n}-1}(t) = P_0(t) \cdot \frac{Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot \ldots \cdot Q_{n-1}(t) \cdot Q_n(t)}{R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \ldots \cdot R_{n-1}(t) \cdot R_n(t)} \quad (14.3.92)$$

Deoarece

$P_0(t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t)$ rezultă:

$$P_{2^{n}-1}(t) = \prod_{i=1}^{n} Q_i(t) \quad (14.3.93)$$

După determinarea funcției de fiabilitate ceilalți indicatori de fiabilitate ai sistemelor (instalațiilor) fără restabilire, rata de defectare $\lambda(t)$ și durata medie de funcționare până la apariția unei defectări $MTTF = m$ se determină cu relațiile cunoscute 14.2.3 și 14.2.6.

14.3.6. Procedeul grupurilor de defectare

Este un procedeu utilizat pentru analiza fiabilității sistemelor (instalațiilor) complexe, ale căror scheme logice de fiabilitate nu sunt reductibile la configurații clasice.

Procedeul este foarte eficient în practică dacă se admit ipotezele:

- elementele sunt independente din punct de vedere al fiabilității de defectare (§ 14.3.2, ipoteza b);
- probabilitatea ca la un moment dat să fie în stare de defect mai mult de două elemente relevante ale schemei logice de fiabilitate poate fi neglijată (§ 14.3.2, ipoteza d).

Prin „grup de defectare" se înțelege mulțimea elementelor caracterizate de faptul că starea de funcționare a mulțimii respective este asigurată dacă, cel puțin, un element al grupului se află în stare de funcționare. Întrucât din experiența practică s-a constatat că, în cazul schemelor de instalații, în general, și al instalațiilor electrice, în special, în perioada în care un element al schemei este defect, probabilitatea de a se defecta mai mult de încă un element este extrem de redusă, conform celei de a două ipoteze de mai sus grupurile de defectare se consideră ca putând fi constituite numai din unul sau două elemente. Astfel, se iau în considerare, ca grupuri de defectare, numai elementele individuale prin a căror defectare schema trece în stare de defect sau grupuri de câte două elemente prin a căror defectare în aceeași perioadă schema trece în stare de defect. Grupurile de defectare rezultate, din câte un singur element, se prezintă în schema echivalentă de calcul ca atare, iar cele reprezentate de câte două elemente se reprezintă prin grupări în paralel. Schema echivalentă de calcul se obține prin reprezentarea în serie a tuturor grupurilor de defectare.

Pentru constituirea propriu-zisă a grupurilor de defectare, după întocmirea schemei logice de fiabilitate, aceasta se simplifică în măsura în care acest lucru este posibil cu ajutorul relațiilor de echivalență și apoi se întocmește o matrice cu număr de linii și coloane egal cu numărul elementelor din schema simplificată, afectându-se fiecărui element o linie și o coloană. În cazurile deosebite, în care ne interesează, în final, influența unuia sau mai multor elemente asupra fiabilității instalației, acestea nu se vor include în echivalările respective fiind considerate ca grupuri de defectare constituite din elemente individuale.

Se urmărește, în continuare, pentru fiecare linie, dacă elementul respectiv defect împreună cu un alt element defect (pe coloane) conduce la defectarea schemei logice de fiabilitate. În cazul în care acest lucru este adevărat, se notează intersecția liniei cu a coloanei respective, intersecțiile notate definind grupurile de defectare.

Analiza matricii se face, din motive de simetrie, numai deasupra diagonalei principale, inclusiv această diagonală.

Trebuie menționat faptul că, în funcție de definirea cerinței funcționale a instalației, pentru aceeași schemă logică de fiabilitate grupurile de defectare pot fi diferite.

14.3.7. Alte metode

În teoria fiabilității sistemelor există foarte multe alte metode utilizate pentru evaluarea fiabilității. Dintre acestea se menționează metoda proceselor Markov finite cu argument discret, metoda proceselor semi - Markov cu argument continuu, simularea Monte - Carlo, metoda algebrei variabilelor aleatoare, metoda arborilor de defectare, metode bazate pe rețele Petri deterministe și stocastice, metode legate de teoria mulțimilor fuzzy (vagi) ș.a.

Aceste metode sunt folosite, în prezent, mai puțin în domeniul fiabilității instalațiilor electrice.

14.4. Ingineria fiabilității instalațiilor electrice cu scheme logice de tipul „α din n"

Este cazul instalațiilor compuse din n elemente din care, pentru asigurarea stării de disponibilitate, este necesar să fie în stare de disponibilitate un număr de α elemente.

Problema care se pune este determinarea indicatorilor de fiabilitate ai instalației (necunoscute problemei) în funcție de indicatorii de fiabilitate ai elementelor componente (datele de intrare).

În literatura de specialitate se întâlnește frecvent pentru sistemele corespunzătoare instalațiilor de acest tip denumirea de „sisteme *k* din *n*" unde *k* este numărul minim al elementelor care trebuie să se defecteze pentru ca sistemul să treacă din starea de disponibilitate în starea de indisponibilitate. Este evident că există relația $k = n - \alpha + 1$. S-a ales alternativa „α din *n*" pentru că permite o tratare mai generală a problemelor și pentru că, pe parcursul analizei de fiabilitate, se are în vedere, permanent, starea de disponibilitate (respectiv, starea de funcționare).

În analizele de fiabilitate se iau în considerare numai elementele esențiale relevante ale schemei logice de fiabilitate, așa cum au fost definite în § 14.3.1.

Se vor folosi, în continuare, termenii de stare de funcționare, respectiv, nefuncționare, în loc de disponibilitate, respectiv, indisponibilitatea. Diferența celor 2 tipuri de stări constă în faptul că o entitate poate fi în stare de disponibilitate fără a fi în stare de funcționare, dar invers, nu se poate.

Altfel spus, la durata stărilor de funcționare se adaugă, pentru determinarea stărilor de disponibilitate, durata stărilor de așteptare (stand-by) în care entitatea nu este programată să funcționeze. Spre deosebire de duratele stărilor de funcționare care sunt variabile aleatoare, duratele stărilor de așteptare sunt de natură deterministă (sau cvasideterministă). Modelele matematice uzuale actuale ale teoriei fiabilității, împrumutate din teoria probabilităților, nu iau în considerare decât duratele aleatoare ale stărilor de funcționare. Corespunzător acestor durate se alege durata programată (sau durata de referință) pentru funcționare într-un anumit interval de timp calendaristic.

Soluțiile pentru determinarea principalilor indicatori de fiabilitate și a parametrilor echivalenți (pentru cazul „metodei elementelor echivalente", § 14.3.4) în funcție de care, cu relațiile de calcul din 14.2 și 14.3 se pot determina toți ceilalți indicatori, se prezintă soluțiile pentru:
- disponibilitatea asimptotică *A*;
- numărul mediu de defectări într-un interval de referință *T*, *v(T)*;
- funcția de fiabilitate pentru un interval de referință *t*, *R(t)*;
- parametrii echivalenți λ_e și μ_e.

Ceilalți indicatori se pot calcula, după caz, în funcție de cei de mai sus, cu relațiile 14.2.3-18, 14.2.20-21, 14.3.23, 14.3.63-64, 14.3.66-67 și 14.3.72.

Soluțiile sunt prezentate pentru cazul general (n, α) oarecare și pentru principalele cazuri particulare întâlnite în ingineria fiabilității instalațiilor, atât pentru elemente componente diferite ca fiabilitate cât și pentru elemente identice cu $\lambda_1 = \lambda_2 = ... = \lambda_n = \lambda$, respectiv, $\mu_1 = \mu_2 = ... = \mu_n = \mu$.

14.4.1. Cazul general

Indicatorii *A*, *v(T)* și *R(t)* se determină cu ajutorul următoarelor reguli generale.

- Pentru exprimarea lui *A* se înmulțește probabilitatea P_0 cu suma primilor $(n - \alpha + 1)$ coeficienți ai puterilor lui *x* din dezvoltarea produsului:

$$\Pi_n(x) = \prod_{i=1}^{n}\left(1 + \frac{\lambda_i}{\mu_i} \cdot x\right) \qquad (14.4.1)$$

ordonați după puterile crescătoare ale lui *x* după care se face $x = 1$, unde probabilitatea P_0 este dată de relația 14.3.82.

- Pentru exprimarea lui *v(T)* se înmulțește produsul $P_0 \cdot T$ cu suma formată din produsele dintre termenii coeficientului lui $x^{n-\alpha}$ din:

$$\Pi_n(x) = \prod_{i=1}^{n}\left(1 + \frac{\lambda_i}{\mu_i} \cdot x\right)$$

și sumele $\sum_j \lambda_j$ unde *j* reprezintă partea din indici $i = \{1, 2, ..., n\}$ care nu apar în termenii respectivi ai coeficientului lui $x^{n-\alpha}$.

- Pentru exprimarea lui *R(t)* se înmulțește probabilitatea P_0 cu suma primilor $(n - \alpha + 1)$ coeficienți ai puterilor lui *x* din produsul:

$$\Pi_n(x) = \prod_{i=1}^{n}\left[1 + \frac{Q_i(t)}{R_i(t)} \cdot x\right] = \prod_{i=1}^{n}\left[1 + \left(e^{\lambda_i \cdot t} - 1\right) \cdot x\right] \qquad (14.4.2)$$

ordonați după puterile crescătoare ale lui *x* după care se face $x = 1$.

Probabilitatea P_0 se determină în acest caz cu relația

$$P_0 = \prod_{i=1}^{n} R_i(t) \qquad (14.4.3)$$

Observație. În cazul funcției de fiabilitate s-a folosit notația *t* în loc de *T* pentru a diferenția semnificațiile celor două intervale „programate" pentru funcționare. În unele probleme practice atât durata *T* cât și durata *t pot fi rezultate,* în loc de *date* ale problemelor.

Pentru parametrii echivalenți λ_e și μ_e nu sunt prezentate reguli generale deoarece se pot determina imediat cu relațiile 14.3.74 și 14.3.75.

În cazul elementelor identice, din regulile generale, rezultă relațiile:

$$A_e = \frac{\mu^n}{(\lambda+\mu)^n} \cdot \sum_{k=0}^{n-\alpha} C_n^k \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k = A^n \cdot \sum_{k=0}^{n-\alpha} C_n^k \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \qquad (14.4.4)$$

$$v_e(T) = \frac{C_n^{n-\alpha} \cdot \alpha \cdot \lambda^{n-\alpha+1} \cdot \mu^\alpha}{(\lambda+\mu)^n} \cdot T = \lambda \cdot A^n \cdot \alpha \cdot \sum_{k=0}^{n-\alpha} C_n^{n-\alpha} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n-\alpha} \cdot T \qquad (14.4.5)$$

$$R_e(t) = R^n(t) \cdot \sum_{k=0}^{n-\alpha} C_n^k \left[\frac{Q(t)}{R(t)}\right]^k = R_n(t) \cdot \sum_{k=0}^{n-\alpha} C_n^k \left(e^{\lambda t} - 1\right)^k \qquad (14.4.6)$$

Precizare. Se folosesc, în continuare, pentru indicatorii de fiabilitate ai sistemului atât notațiile A, *v(T)* și *R(t)* cât și notațiile A_e, $v_e(T)$ și $R_e(t)$, primele fiind preferate în cazurile în care nu se pot produce confuzii (în general, se pot produce unele confuzii în cazul elementelor componente identice din punct de vedere al fiabilității). Se folosesc și notații cu alți indici în cazurile în care prin aceasta se obține un plus de semnificație sau expresivitate.

$$\lambda_e = \lambda \cdot \frac{\alpha \cdot C_n^\alpha \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n-\alpha}}{\sum_{k=0}^{n-\beta} C_n^k \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k} \qquad (14.4.7)$$

$$\mu_e = \mu \cdot \frac{\alpha \cdot C_n^\alpha \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{n-\alpha+1}}{\sum_{k=n-\alpha+1}^{n} C_n^k \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k} \qquad (14.4.8)$$

Relațiile generalizate 14.4.7 și 14.4.8 reprezintă formule de calcul care pun în evidență factorii cu care se modifică parametrii λ și μ în cazurile corespunzătoare ale valorilor *n* și α.

Exemplul 1. Într-o stație de transformare MT/JT sunt montate 4 transformatoare identice, puterea cerută de consumatori putând fi asigurată de numai trei transformatoare, al patrulea fiind de rezervă. Se determină parametrii echivalenți de fiabilitate pe durata

$t = 8000$ h, cunoscând ratele de defectare (λ) și de restabilire (μ) pentru un transformator $\lambda = 0{,}03195 \cdot 10^{-8}$ s^{-1} și $\mu = 72{,}97 \cdot 10^{-8}$ s^{-1}.

Soluție: În acest caz $n = 4$ și $\alpha = 3$, rezultând conform relațiilor 14.4.7 și (14.4.8).

Nr. căi	λ	μ	U.M.
1	3,20E - 10	7,30E - 07	[s^{-1}]
2	3,20E - 10	7,30E - 07	[s^{-1}]
3	3,20E - 10	7,30E - 07	[s^{-1}]

$\lambda_e = 0{,}0001675 \cdot 10^{-8}\text{s}^{-1}$

$\mu_e = 145{,}908 \cdot 10^{-8}\text{s}^{-1}$

Utilizând calculul automat rezultă:
$n = 4$; $\alpha = 3$
$t = 8000$ h
λ_e = 0,0001675786412176 56 E-08 s^{-1} =
= 0,603283108383563 E-08 h^{-1};
μ_e = 145,908052327311 E-08 s^{-1} =
= 525268,98837832 E-08 h^{-1}.

14.4.2. Cazul α = n

Acest caz este cunoscut sub denumirea serie, denumire împrumutată din electrotehnică. Cazul serie corespunde ipotezei conform căreia, pentru asigurarea stării de funcționare a instalației („cerință funcțională"), este necesar ca toate elementele relevante (din schema logică de fiabilitate) să fie în stare de funcționare.

Schema logică de fiabilitate este de tipul schemei serie din electrotehnică (fig. II.14.3).

În acest caz denumirea de „α din n" este improprie deoarece nu există redundanță iar $n - \alpha = 0$. Considerarea acestui caz este justificată de posibilitatea obținerii expresiilor de calcul pentru indicatorii de fiabilitate prin particularizarea relațiilor de mai sus. Într-adevăr, pentru $\alpha = n$ rezultă:

$$A = \frac{1}{\prod_{i=n}^{n}\left(1+\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)} = \prod_{i=1}^{n}\frac{\mu_i}{\lambda_i+\mu_i} = \prod_{i=1}^{n} A_i \qquad (14.4.9)$$

$$v(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i}{\prod_{i=1}^{n}\left(1+\frac{\lambda_i}{\mu i}\right)} \cdot T \qquad (14.4.10)$$

$$R(T) = \prod_{i=1}^{n} R_i(T) \qquad (14.4.11)$$

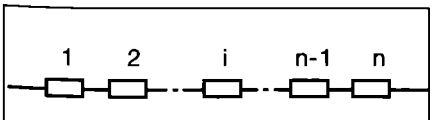


Fig. II.14.3. Circuit serie cu *n* elemente.

$$\lambda_e = \sum_{i=1}^{n}\lambda_i \qquad (14.4.12)$$

$$\mu_e = \frac{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i}{\prod_{i=1}^{n}\left(1+\frac{\lambda_i}{\mu_i}\right)-1} \qquad (14.4.13)$$

iar în cazul elementelor identice:

$$A_e = \left(\frac{\mu}{\lambda+\mu}\right)^n = A^n \qquad (14.4.14)$$

$$v_e(T) = \frac{n\lambda\mu^n}{(\lambda+\mu)^n} \cdot T \qquad (14.4.15)$$

$$R_e(t) = e^{-n\lambda t} \qquad (14.4.16)$$

$$\lambda_e = n\lambda a \qquad (14.4.17)$$

$$\mu_e = \frac{n\lambda\mu^n}{(\lambda+\mu)^n - \mu^n} \qquad (14.4.18)$$

Observație importantă. În unele lucrări de specialitate, în locul relațiilor pentru A, $v(T)$ și μ_e de mai sus, rezultate din „regulile generale", se întâlnesc relațiile:

$$A = \frac{1}{1+\sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda_i}{\mu_i}} \qquad (14.4.19)$$

$$v(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i}{1+\sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda_i}{\mu_i}} \qquad (14.4.20)$$

$$\mu_e = \frac{\sum_{i=1}^{n}\lambda_i}{\sum_{i=1}^{n}\frac{\lambda_i}{\mu_i}} \qquad (14.4.21)$$

Dacă probabilitatea acestor tranziții nu se neglijează, la numitorul relațiilor 14.4.19...21 apar, în plus, sume de produse de tipul:

$\frac{\lambda_i\lambda_j}{\mu_i\mu_j}$, $\frac{\lambda_i\lambda_j\lambda_k}{\mu_i\mu_j\mu_k}$ ș.a.m.d. (cu i≠j, j≠k, k≠i),

care conduc la expresiile de la numitor ale relațiilor 14.4.9-10 și 14.4.13.

Întrucât posibilitatea unei tranziții dintr-o stare de defect a unei instalații într-o altă stare de defect, respectiv, probabilitatea defectării unui element relevant, în perioada când instalația este în stare de defect, poate fi neglijată (conform ipotezei din §14.3.2, confirmată de realitate), ambele grupe de relații de calcul de mai sus pot fi utilizate în practică. Diferențele între rezultatele care se obțin sunt nesemnificative. Preferința înclină, evident, către ultimele, deoarece sunt mai simple.

Corespunzător acestor relații, pentru elemente identice, se scrie:

$$A = \frac{\mu}{n\lambda+\mu} \qquad (14.4.22)$$

$$v(T) = \frac{n\lambda\mu}{n\lambda+\mu} \cdot T \qquad (14.4.23)$$

$$\mu_e = \mu \qquad (14.4.24)$$

Exemplul 2. Se determină indicatorii de fiabilitate ai instalației din figura II.14.4, pentru o durată programată de funcționare $T = 8760$ h și o durată programată de funcționare neîntreruptă $t = 1000$ h, cunoscându-se ratele de defectare, respectiv, restabilire pentru bare, separatoare, întreruptoare și cabluri:
$\lambda_B = \lambda_1 = 0{,}03306 \cdot 10^{-8}$ s^{-1}
$\mu_B = \mu_1 = 1656 \cdot 10^{-8}$ s^{-1}
$\lambda_S = \lambda_2 = 0{,}00834 \cdot 10^{-8}$ s^{-1}
$\mu_S = \mu_2 = 1538 \cdot 10^{-8}$ s^{-1}
$\lambda_I = \lambda_3 = 0{,}04334 \cdot 10^{-8}$ s^{-1}
$\mu_I = \mu_3 = 1552 \cdot 10^{-8}$ s^{-1}
$\lambda_C = \lambda_4 = 0{,}355 \cdot 10^{-8}$ s^{-1}/km
$\mu_C = \mu_4 = 103 \cdot 10^{-8}$ s^{-1}
Lungimea traseului de cablu se consideră egală cu 1 km.

Soluție. Cerința funcțională: să se asigure energie la consumatorul *M*.

Schema logică este dată în fig. II.14.5.

Pentru:
$n = 4$
$\alpha = 4$
$T = 8760$ h
$t = 1000$ h
utilizând calculul automat rezultă:

Nr. căi	λ	μ	U.M.
1	3,31E-10	1,66E-05	[s^{-1}]
2	8,34E-11	1,54E-05	[s^{-1}]
3	4,33E-10	1,55E-05	[s^{-1}]
4	3,55E-09	1,03E-06	[s^{-1}]

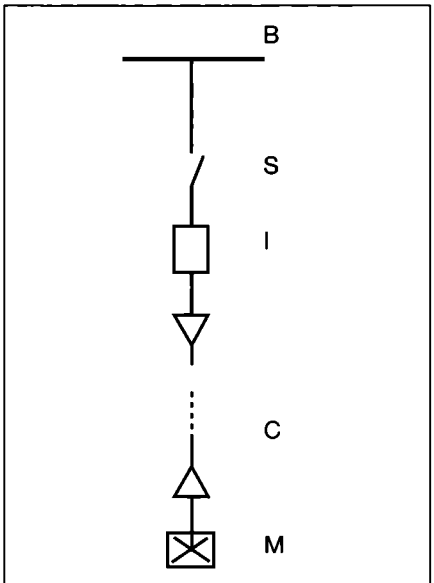


Fig. II.14.4. Circuit de alimentare a unui consumator M:
B - bara de alimentare; S - separator; I - întreruptor automat; C - cablu.

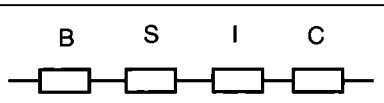


Fig. II.14.5. Schema logică a schemei din fig. II.14.4.

$P_0 = 0,99651211$
$A = 0,99651211$
$\alpha(T) = 31426005,89$ s $= 8729,44$ h
$\beta(T) = 109994,10$ s $= 30,55$ h
$\nu(T) = 0,138$
$m = 2,27\ E+08$ s $= 0,0006316\ E+08$ h
$m_r = 795947,186$ s $= 221,096$ h
$R(t) = 0,984$
$\lambda_e = 0,4397\ E-08$ 1/s $=$
$= 1583,064\ E-08$ 1/h
$\mu_e = 125,636\ E-08$ 1/s $=$
$= 452291,3154\ E-08$ 1/h.

Exemplul 3. Se cere valoarea funcției de fiabilitate a schemei de comandă automată reprezentată în fig. II.14.6 în care defectarea oricărei componente conduce la defectarea schemei. Se cunosc ratele de defectare pentru siguranțe fuzibile $\lambda_f = 0,5 \cdot 10^{-6}$ h^{-1}; pentru butoane de comandă $\lambda_b = 0,175 \cdot 10^{-6}$ h^{-1} pentru o grupă de contacte și pentru contactoare $\lambda_C = 0,25 \cdot 10^{-6}$ h^{-1}. Durata de referință $t = 1000$ h.

Soluție. Conform relației 14.4.12 și ținând cont de faptul că butonul S_1 are utilizare în schemă 3 grupe de contacte, contactorul K_2 are utilizate 2 grupe de contacte, iar contactorul K_3 are utilizate 3 grupe de contacte, rezultă:
$\lambda = \lambda_f + (3+1)\lambda_b + (1 + 2 + 3)\lambda_c =$
$= 2,7 \cdot 10^{-6}$ h^{-1}
și conform relației (14.3.4),
$R(t) = e^{-2,7 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
$R(1000\ h) = 0,9973$
deci o fiabilitate, relativ, bună.

14.4.3. Cazul $\alpha = 1$, $n = 2$

Este cazul a două elemente în paralel, denumire împrumutată, de asemenea, din electrotehnică.

Prin particularizarea regulilor generale se obține:

$$A = 1 - \prod_{i=1}^{2} \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} = A_1 + A_2 - A_1 \cdot A_2 \qquad (14.4.25)$$

$$\nu(T) = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (\mu_1 + \mu_2)}{(\lambda_1 + \mu_1) \cdot (\lambda_2 + \mu_2)} \cdot T \qquad (14.4.26)$$

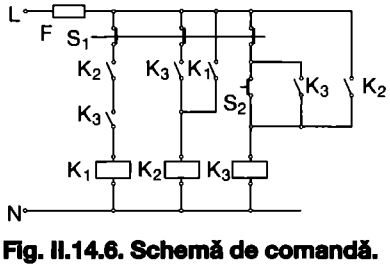


Fig. II.14.6. Schemă de comandă.

$$R(t) = R^1(t) + R^2(t) - R^1(t) \cdot R^2(t) \qquad (14.4.27)$$

$$\lambda_e = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (\mu_1 + \mu_2)}{\lambda_1 \cdot \mu_2 + \lambda_2 \mu_1 + \mu_1 \mu_2} \qquad (14.4.28)$$

$$\mu^e = \mu^1 + \mu^2 \qquad (14.4.29)$$

În cazul elementelor identice:

$$A_e = 1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu}\right)^2 = \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^2 = A^2 \qquad (14.4.30)$$

$$\nu_e(T) = 2\mu \cdot \left(\frac{\mu}{\lambda + \mu}\right)^2 \cdot T \qquad (14.4.31)$$

$$R^e(t) = 2\,e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t} \qquad (14.4.32)$$

$$\lambda_e = \frac{2\lambda^2}{2\lambda + \mu} \qquad (14.4.33)$$

$$\mu^e = 2\mu \qquad (14.4.34)$$

Exemplul 4. Se cere funcția de fiabilitate a instalației din fig. II.14.3 exemplu 2, pentru $t = 8.760$ h, în cazul în care în loc de un cablu se montează două cabluri identice în paralel, fiecare putând prelua întreaga sarcină.

Să se compare rata de defectare în acest caz cu cazul din exemplul 2.

Soluție. În acest caz, cablurile sunt în paralel și din punct de vedere electric și din punct de vedere fiabilistic.

Fiabilitatea sistemului format din cele două cabluri în paralel este dată de relația 14.4.32.
$R_{pc}(t) = 0,98878$
Fiabilitatea instalației trebuie calculată prin „înserierea" barei separatorului, întreruptorului și sistemului format de cele două cabluri în paralel:

$$R(t) = R_b(t) \cdot R_s(t) \cdot R_i(t) \cdot R_{pc}(t) =$$
$$= e^{-\lambda_b \cdot t} \cdot e^{-\lambda_s \cdot t} \cdot e^{-\lambda_i \cdot t} \cdot R_{pc}(t)$$

respectiv,
$R(8760) = 0,9627$
În cazul din exemplul 2 rata de defectare este dată de relația 14.4.12
$\lambda_s = 0,43974 \cdot 10^{-8}\ s^{-1}$.
În cazul din acest exemplu deoarece, pentru elemente în paralel, din punct de vedere al fiabilității, funcția de repartiție a sistemului nu mai este exponențială, rata de defectare trebuie determinată pentru cele două cabluri în paralel cu ajutorul relațiilor 14.2.3 și 14.4.32

$$\lambda_{p_c}(t) = \frac{1 - e^{-0,355 \cdot 10^{-8} \cdot t}}{1 - \frac{1}{2} e^{-0,355 \cdot 10^{-8}}} \cdot 0,355 \cdot 10^{-8}$$

deci rata de defectare în acest caz, pentru sistem, depinde de timp.

Pentru întregul sistem, conform relației rezultă:

$$\lambda(t) = (0,3306 + 0,00834 + 0,04334) \cdot 10^{-8} + \frac{1 - e^{-0,355 \cdot 10^{-8} \cdot t}}{1 - \frac{1}{2} \cdot e^{-0,355 \cdot 10^{-8} \cdot t}} \cdot 0,355 \cdot 10^{-8}$$

Pentru $t = 8760$ h
$\lambda(t) = 0,15273 \cdot 10^{-8}\ s^{-1}$
Rezultă că rata de defectare în cazul alimentării prin două cabluri în paralel, pentru $t = 8760$ h, este de aproximativ 3 ori mai mică decât în cazul în care se face alimentarea printr-un singur cablu. Ea este mai mică în acest caz pentru orice valori ale lui t deoarece din relațiile 14.2.3 și 14.4.32 rezultă:

$$\lambda(t) = -\frac{-2\lambda_e^{-\lambda t} + 2\lambda e^{-2\lambda t}}{2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}} = \lambda \cdot \frac{1 - e^{-\lambda t}}{1 - \frac{1}{2} e^{-\lambda t}} < \lambda$$

14.4.4. Cazul $\alpha = 2$, $n = 3$

Este un caz frecvent întâlnit în problemele de fiabilitate a instalațiilor. Prin particularizarea regulilor generale se obține:

$$A = P_0 \left(1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \frac{\lambda_3}{\mu_3}\right) \qquad (14.4.35)$$

$$\nu(T) = \begin{bmatrix} (\lambda_2 + \lambda_3) \cdot \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \\ + (\lambda_1 + \lambda_3) \cdot \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \\ + (\lambda_1 + \lambda_2) \cdot \frac{\lambda_3}{\mu_3} \end{bmatrix} \cdot P_0 \cdot T \qquad (14.4.36)$$

unde:

$$P_0 = \prod_{i=1}^{3} \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} = \prod_{i=1}^{3} A_i \qquad (14.4.37)$$

$$\lambda_e = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \mu_3 (\mu_1 + \mu_2) + \lambda_1 \lambda_3 \mu_2 (\mu_1 + \mu_3) + \lambda_2 \lambda_3 \mu_1 (\mu_2 + \mu_3)}{\mu_1 \mu_2 \mu_3 + \lambda_1 \mu_2 \mu_3 + \lambda_2 \mu_1 \mu_3 + \lambda_3 \mu_1 \mu_2} \qquad (14.4.38)$$

$$\mu_e = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \mu_3 (\mu_1 + \mu_2) + \lambda_1 \lambda_3 \mu_2 (\mu_1 + \mu_3) + \lambda_2 \lambda_3 \mu_1 (\mu_2 + \mu_3)}{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \lambda_1 \lambda_2 \mu_3 + \lambda_1 \lambda_3 \mu_2 + \lambda_2 \lambda_3 \mu_1} \qquad (14.4.39)$$

În cazul elementelor identice:

$$A_e = \frac{\mu_2 (\mu + 3\lambda)}{(\lambda + \mu)^3} \qquad (14.4.40)$$

$$\nu_e(T) = \frac{6\lambda^2 \mu^2}{(\lambda + \mu)^3} \cdot T \qquad (14.4.41)$$

$$\lambda_e = \frac{6\lambda^2}{\mu + 3\lambda} \qquad (14.4.42)$$

$$\mu_e = \frac{2\mu^2}{\lambda + 3\mu} \qquad (14.4.43)$$

14.5. Ingineria fiabilității instalațiilor electrice complexe

Prin instalații complexe se înțeleg toate instalațiile care nu sunt de tipul (n - α) redundante.

Pentru aceste instalații (sisteme) nu există soluții generale de rezolvare pentru orice tip de structură fiabilistică. Problemele se rezolvă, în fiecare caz concret, utilizând metodele, modelele și procedeele prezentate în § 14.3 sau alte metode. Alegerea metodei este determinată, în general, în cazul instalațiilor electrice (și nu numai în acest caz), de durata necesară rezolvării problemei în funcție de mijloacele disponibile pentru rezolvare, între care profesionalismul și software-ul sunt, de regulă, determinante.

14.5.1. Relații de calcul aproximative

Pentru instalații de complexitate medie, utilizarea numai a relațiilor prezentate sau deduse în capitolele anterioare conduce, uneori, la soluții fie dificil de obținut, fie dificil de utilizat în practică. Mai mult, preocupările teoretice exagerate pentru precizie sunt aproape inutile în acest caz deoarece datele numerice utilizate în calcule reflectă realitatea cu un grad destul de scăzut de fidelitate, în special, din cauza lipsei de informații suficiente privind fiabilitatea elementelor.

Pentru înlăturarea, în mare măsură, a acestor inconveniente, se prezintă unele relații (formule) aproximative de calcul care pot fi utilizate, cu mult succes, în cazul instalațiilor cât și al altor sisteme (cu anumite precauții), relații cu ajutorul cărora volumul de calcul se reduce deosebit de mult, iar precizia cu care se determină indicatorii și parametrii de fiabilitate se păstrează la un nivel mai mult decât satisfăcător, erorile fiind, în majoritatea cazurilor, lipsite de importanță.

Relațiile prezentate sau deduse în capitolele precedente, în ipotezele repartițiilor exponențiale pentru variabilele aleatoare T_f și T_r și independenței de timp a probabilităților absolute ale stărilor din modelul lanțurilor Markov, sunt relații aproximative, rezultate ca urmare a acceptării acestor ipoteze care au adus la simplificarea relațiilor inițiale.

Relațiile aproximative prezentate în continuare se bazează pe observarea a două particularități importante ale instalațiilor, în general, și instalațiilor electrice, în special:

- frecvența apariției rapoartelor λ_i/μ_i în relațiile pentru determinarea indicatorilor de fiabilitate pentru sistemele cu restabilire;
- valorile relativ mici ale rapoartelor λ_i/μ_i pentru elementele componente ale instalațiilor, întâlnindu-se, în general, în practică, valori uzuale sub 0,001 și maxime sub 0,01 (excepțiile sunt tot mai rar întâlnite).

a - Relații aproximative simplificate pentru calculul parametrilor echivalenți λ_e și μ_e

Dificultățile de calcul pentru determinarea fiabilității sistemelor cu restabilire provin, în mare măsură, din cauza relațiilor pentru determinarea parametrului echivalent λ_e în cazul elementelor în „paralel" din punct de vedere al fiabilității. Astfel relația 14.4.28, pentru cazul a două elemente în paralel:

$$\lambda_e = \frac{\lambda_1\lambda_2 \cdot (\mu_1 + \mu_2)}{\mu_1\mu_2 + \lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\mu_1}$$

intervine repetat, de multe ori, în exprimarea indicatorilor de fiabilitate ai unei instalații, chiar de complexitate relativ redusă.

Relația se mai poate scrie sub forma:

$$\lambda'_e \approx s_1 \cdot \lambda_2 + s_2 \cdot \lambda_1 \qquad (14.5.1)$$

în care s-a introdus notația:

$$s_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} \qquad (14.5:2)$$

Aproximarea este acoperitoare deoarece, evident $\lambda'_e > \lambda_e$ iar eroarea relativă a acestei aproximări este:

$$\delta_\lambda = (s_1 + s_2) \cdot 100 \quad [\%] \qquad (14.5.3)$$

Având o expresie simplă, eroarea se poate determina cu ușurință în cazul în care acest lucru este necesar pentru aprecierea preciziei sau pentru eventuale corecții.

Analog, în cazul a trei elemente în paralel cu $\alpha = 2$, relația 14.4.38 poate fi aproximată prin relația simplificată acoperitoare:

$$\lambda'_e \cong \lambda_1(s_2 + s_3) + \lambda_2(s_1 + s_3) + \lambda_3(s_1 + s_2) = s_1(\lambda_2 + \lambda_3) + s_2(\lambda_1 + \lambda_3) + s_3(\lambda_1 + \lambda_2) \qquad (14.5.4)$$

cu o eroare relativă egală cu:

$$\delta_\lambda = (s_1 + s_2 + s_3) \cdot 100 \ [\%] \qquad (14.5.5)$$

Pentru n elemente serie relația 14.4.21 devine:

$$\mu_e = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda_i}{\mu_i}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}{\sum_{i=1}^{n} s_i} \qquad (14.5.6)$$

și conform relației:

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_i = \lambda_e \text{ rezultă: } \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = \frac{\lambda_e}{\mu_e} \qquad (14.5.7)$$

Dacă se introduce notația:

$$s_e = \frac{\lambda_e}{\mu_e} \qquad (14.5.8)$$

rezultă:

$$s_e = \sum_{i=1}^{n} s_i \qquad (14.5.9)$$

Grupul de relații 14.5.6 și 14.5.9 sunt mult mai comode în practica inginerească decât grupul de relații 14.4.12 și 14.4.21.

Relația 14.5.9 are caracter de relație aproximativă în aceeași măsură cu relația 14.5.6, datorită neglijării, prin ipoteză, a tranzițiilor din stări de defect în stări de defect.

Pentru 2 elemente în paralel ținând seama de relația $\mu_e = \mu_1 + \mu_2$, se observă că, și în acest caz, utilizând relația 14.5.1 rezultă o relație foarte simplă pentru s_e conform notației:

$$s'_e \cong \frac{\lambda'_e}{\mu_e} = s_1 \cdot s_2 \qquad (14.5.10)$$

cu o eroare relativă a aproximării:

$$\delta_{s_e} = (s_1 + s_2) \cdot 100 \ [\%] = \delta_\lambda \qquad (14.5.11)$$

În concluzie, pentru relațiile cele mai utilizate în calculele pentru determinarea fiabilității instalațiilor se pot folosi relațiile sau formulele aproximative stabilite mai

Tabelul II.14.1. Relații uzuale pentru calculul parametrilor echivalenți de fiabilitate.

Tipul schemei	Relații exacte	Relații aproximative simplificate	Eroare relativă [%]
n elemente în serie	$\lambda_e = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$	$\lambda_e = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$	-
	$\mu_e = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda_i}{\mu_i}}$	$s_e = \sum_{i=1}^{n} s_i$	-
două elemente în paralel	$\lambda_e = \frac{\lambda_1\lambda_2(\mu_1 + \mu_2)}{\mu_1\mu_2 + \lambda_1\mu_2 + \lambda_2\mu_1}$	$\lambda'_e \cong s_1\lambda_2 + s_2\lambda_1$	$(s_1 + s_2) \cdot 10^2$
	$\mu_e = \mu_1 + \mu_2$	$s'_e \cong s_1 \cdot s_2$	$(s_1 + s_2) \cdot 10^2$

sus, sintetizate în tabelul II.14.1.

Un avantaj al utilizării parametrului s introdus în capitolul precedent este cel al simplificării relațiilor cele mai uzuale de calcul, prin stabilirea formulelor aproximative sintetizate în tabelul II.14.1. Avantajul este evident, atât în cazul structurilor de tip serie din n elemente - înlocuirea relației 14.4.21, cât și în cazul structurilor de tip paralel din două elemente - înlocuirea relației 14.4.28. Pentru structurile de tip paralel, conform tabelului II.14.1 este la fel de avantajoasă și utilizarea parametrului μ_e, care are o expresie la fel de simplă.

Pentru alte tipuri de structuri, de exemplu, cazul cu trei elemente cu $\alpha = 2$, nu rezultă posibilitatea stabilirii unei relații aproximative simplificate convenabile pentru μ_e dat de relația 14.4.39.

Pentru parametrul s_e se poate însă stabili o astfel de relație dacă se utilizează expresia corespunzătoare a lui λ'_e dată de relația 14.5.4, iar pentru μ_e expresia 14.4.39:

$$s'_e \cong \frac{\lambda'_e}{\mu_e} = s_1 s_2 s_3 + s_1 s_2 + s_2 s_3 + s_3 s_1 \qquad (14.5.12)$$

sau:

$$s'_e \cong s_1 s_2 + s_2 s_3 + s_3 s_1 \qquad (14.5.13)$$

cu o eroare relativă prin care este aproximat s_e prin s'_e care se determină cu ușurință și se găsește:

$$\delta_s = \delta_\lambda = (s_1 + s_2 + s_3) \cdot 100\ [\%] \qquad (14.5.14)$$

Un alt avantaj al introducerii parametrului s constă în exprimarea mai comodă și a altor indicatori care caracterizează fiabilitatea instalațiilor. Astfel, pentru probabilitatea stării de disponibilitate, conform relației 14.3.12 în cazul unui singur element, rezultă:

$$A_i = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} = \frac{1}{1 + s_i} \qquad (14.5.15)$$

iar în cazul sistemelor, conform relației 14.3.68:

$$A = \frac{\mu_e}{\lambda_e + \mu_e} = \frac{1}{1 + s_e} \qquad (14.5.16)$$

Dezvoltând în serie relațiile 14.5.15 și 14.5.16 și neglijând, datorită valorilor mici ale lui s, termenii de la s^2 în continuare, rezultă:

$$A \cong 1 - s \qquad (14.5.17)$$

relație aproximativă a cărei eroare absolută se determină din identitatea algebrică:

$$\frac{1}{1+s} = 1 - s + \frac{s^2}{1+s} \qquad (14.5.18)$$

ultimul termen reprezentând „restul" dezvoltării în serie, dacă se iau în considerare numai primii doi termeni. Rezultă eroarea absolută:

$$\Delta A = \frac{s^2}{1+s} \qquad (14.5.19)$$

și eroarea relativă

$$\delta_A = \frac{\Delta A}{A} = s^2 \cdot 100 \quad [\%] \qquad (14.5.20)$$

Relația 14.5.17 este importantă și pentru faptul că, cu ajutorul ei se poate interpreta semnificația parametrului s. Astfel, conform relației 14.5.17 și definiției din § 2, indisponibilitatea asimptomatică se poate scrie:

$$U = 1 - A \approx s \qquad (14.5.21)$$

deci, în cazul unei entități, parametrul s aproximează foarte bine indisponibilitatea asimptomatică. Aceeași semnificație se poate da și pentru s_e în cadrul unei instalații privită ca sistem, cu rezerva luării în considerare, de la caz la caz, a efectului propagării erorilor.

b - Relații aproximative pentru determinarea numărului mediu de defecte și a duratei medii totale a stării de defect într-un interval de timp dat

Relația pentru determinarea numărului mediu de defecte se poate scrie funcție de s:

$$\nu(T) = \frac{\lambda\mu}{\lambda + \mu} \cdot T = \frac{\lambda}{1+s} \cdot T \qquad (14.5.22)$$

în care, neglijând valoarea lui s de la numitor, rezultă relația aproximativă simplificată:

$$\nu(T) \approx \lambda \cdot T \qquad (14.5.23)$$

cu o eroare relativă:

$$\delta_\nu = s \cdot 100 \quad [\%] \qquad (14.5.24)$$

Analog, rezultă:

$$\nu(T) \approx \lambda_e \cdot T \qquad (14.5.25)$$

cu eroarea:

$$\delta_\nu = s_e \cdot 100 \quad [\%] \qquad (14.5.26)$$

acceptabilă în majoritatea cazurilor.

Relația pentru determinarea indicatorilor $\beta[T]$ se poate scrie funcție de s:

$$\beta(T) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \cdot T = \frac{s}{1+s} \cdot T \qquad (14.5.27)$$

și analog se poate scrie relația aproximativă simplificată:

$$\beta(T) \approx s \cdot T \qquad (14.5.28)$$

cu o eroare relativă:

$$\delta_\beta = s \cdot 100\ [\%] = \delta_\nu \qquad (14.5.29)$$

Analog:

$$\beta(T) \approx s_e \cdot T \qquad (14.5.30)$$

cu eroarea:

$$\delta_\beta = s_e \cdot 100 \quad [\%] \qquad (14.5.31)$$

Relațiile 14.5.23 și 14.5.28 sunt deosebit de importante. Conform acestor relații rezultă că fiabilitatea poate fi foarte bine caracterizată de parametrii λ și s, respectiv, λ_e și s_e, în toate cazurile în care valorile:

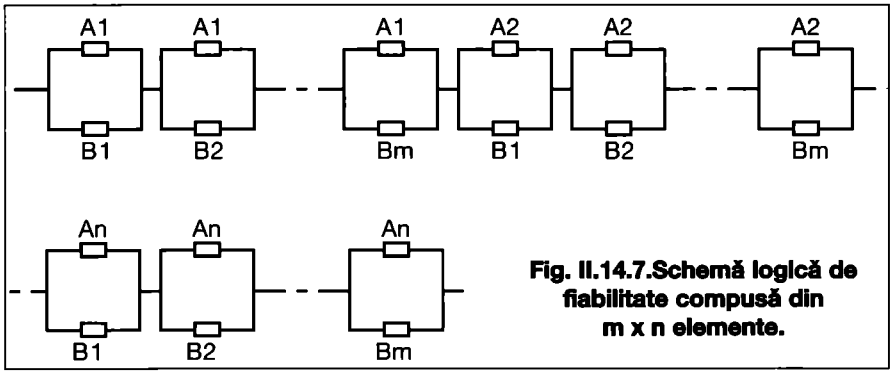


Fig. II.14.7.Schemă logică de fiabilitate compusă din m x n elemente.

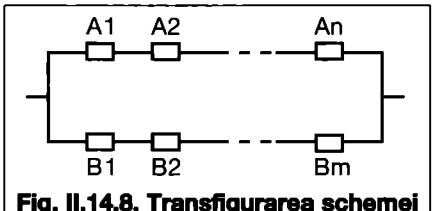


Fig. II.14.8. Transfigurarea schemei din fig. II.14.7.

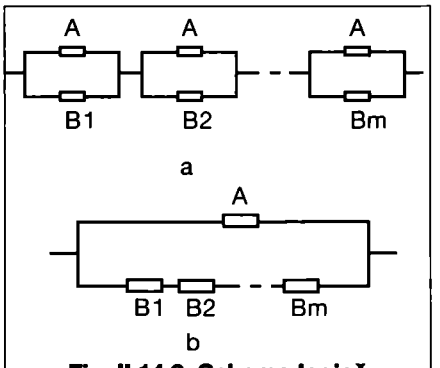


Fig. II.14.9. Schema logică din fig. II.14.7 pentru (a) n = 1 și transfigurarea acesteia (b).

Tabelul II 14.5.2 Variante de dimensionare a schemelor în triunghi în cazul unei alimentări și a 2 consumatori

Circuitul	Puterea luată în calculul de dimensionare			
	caz 1	caz 2	caz 3	caz 4
1-2	$P_2 + P_3$	$P_2 + P_3$	$P_2 + P_3$	$P_2 + k_3 P_3$
1-3	$P_2 + P_3$	$P_3 + k_2 P_2$	P_3	P_3
2-3	P_2	$P_3 + k_2 P_2$	P_3	$k_3 P_3$

$\delta_v = \delta_\beta = 100 \cdot s$ [%], respectiv,
$\delta_v^* = \delta_\beta^* = 100 \cdot s_e$ [%]
sunt relativ mici.

Precauția verificării prealabile a erorii:
$\delta_v = \delta_\beta = 100 \cdot s_e$ [%],
este necesară, de regulă, așa cum o confirmă experiența practică de calcul, numai în cazul unui număr mare de elemente în serie.

14.5.2. Teoreme de transfigurare

a - Considerații asupra unor teoreme de transfigurare triunghi - stea și stea - triunghi

Modelarea structurii unui sistem complex, din punct de vedere fiabilistic, sub forma schemelor logice de fiabilitate și asemănarea acestora, din multe puncte de vedere, cu schemele circuitelor electrice, a condus la tendința de a se împrumuta unele denumiri pentru noțiuni sau chiar teoreme din electrotehnică, pentru teoria fiabilității sistemelor. Ca exemple se pot menționa denumirile *serie, paralel* și *teoremele de transfigurare.*

Referitor la cazul echivalării circuitelor stea cu circuite triunghi, problema pare puțin forțată în cazul fiabilității instalațiilor deoarece nu prezintă același interes practic ca în electrotehnică.

b - Proprietatea importantă a unor structuri tipice în schemele logice de fiabilitate ale instalațiilor

Se demonstrează că pentru valori relativ mici ale rapoartelor λ/μ ale elementelor componente ale unor instalații schema logică de fiabilitate din fig. II.14.7 se poate transfigura în schema din fig. II.14.8.

Pentru $\lambda_i / \mu_i < 0{,}01$, caz frecvent în instalațiile electrice, eroarea de aproximare este în jur de 0,05 %.

Un caz particular este cel în care $n = 1$. În acest caz rezultă echivalența schemelor din fig. II.14.9 a și II.14.9 b, respectiv, relațiile:

$$\lambda_e = \lambda_A \cdot \sum_{j=1}^{m} s_{B_j} + s_A \cdot \sum_{j=1}^{m} \lambda_{B_j} \qquad (14.5.32)$$

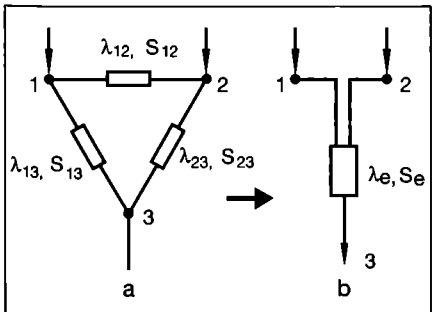


Fig. II.14.10. Schemele logice pentru un consumator cu două alimentări:
a - schema clasică;
b - schema transfigurată.

$$s_e = s_A \cdot \sum_{j=1}^{m} \lambda_{B_j} \qquad (14.5.33)$$

Valoarea deosebită a acestor transfigurări, în afara reducerii foarte mari a volumului de calcule, constă în faptul că transfigurarea se realizează direct, grafic, fără relații de transformare a parametrilor de fiabilitate.

c - Transfigurarea triunghi-stea pentru elemente diferite din punct de vedere al fiabilității

Pentru schemele logice de fiabilitate ale instalațiilor prezintă interes deosebit numai transfigurarea triunghi-stea. În cazul a două alimentări și a unui consumator este suficientă o echivalare a schemei în triunghi cu un singur element echivalent în locul a trei elemente conectate în stea, ceea ce se poate face mult mai comod.

Cazul schemelor în triunghi cu două alimentări și un consumator

Se pune problema echivalenței schemelor din fig. II.14.10 a și II.14.10 b deoarece în problemele de analiză a fiabilității prezintă interes fiabilitatea realizată la nivelul consumatorilor iar în acest caz există un singur consumator. Se consideră, prin ipoteză, că fiecare sursă asigură, singură, puterea necesară consumatorului, circuitele fiind dimensionate în consecință.

Pentru schema logică de fiabilitate din fig. II.14.10 a, parametrii echivalenți sunt:

$$\lambda_e \approx \lambda_{13} \cdot s_{23} + \lambda_{23} \cdot s_{13} \qquad (14.5.34)$$
$$s_e \approx \lambda_{13} \cdot s_{23} \qquad (14.5.35)$$

Determinând fiabilitatea elementului echivalent prin metoda „exactă" a modelării prin procese stocastice de tip Markov (metoda soluției generale) se constată că, nici în acest caz, parametrii elementului dintre nodurile 1 și 2 nu intervin în expresiile lui λ_e și s_e. Parametrii elementului dintre nodurile 1 și 2 intervin numai în expresiile lui A și $v(T)$ însă cu influență foarte mică (neglijabilă). Aceste aspecte conduc la validarea relațiilor de calcul 14.5.34 și 14.5.35 pentru aplicațiile ingineriei fiabilității instalațiilor.

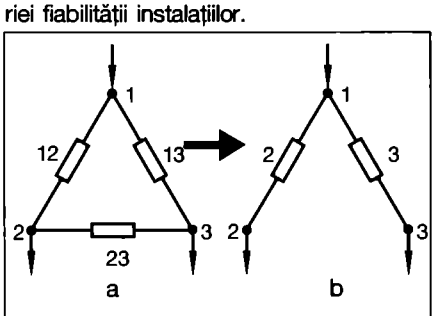


Fig. II.14.11. Schemele logice pentru doi consumatori cu o singură alimentare:
a - schema clasică;
b - schema transfigurată.

În afara faptului că prin relațiile 14.5.34 și 14.5.35 se pot determina foarte ușor parametrii echivalenți de fiabilitate, în cazul transfigurării unei scheme în triunghi compuse din elemente cu fiabilități diferite într-un singur element echivalent, în cazul a două alimentări și un consumator; cele constante mai sus conduc și la concluzia, foarte importantă, privind transfigurarea schemelor de tipul celor din fig. II.14.10 a în scheme de tipul celor din fig. II.14.10 b fără nici un fel de calcule, pe cale directă, grafică, analog cu transfigurarea din subcapitolul b.

Cazul schemelor în triunghi cu o alimentare și doi consumatori

În acest caz schema nu trebuie echivalată, ca în cazul precedent, cu un singur element echivalent pentru că nu ar corespunde scopului urmărit, respectiv, analiza fiabilității la nivelul fiecărui consumator sau receptor. În cazul precedent există un singur consumator. În cazul de față sunt 2 consumatori, ceea ce sugerează o transfigurare de tipul celei din fig. II.14.11, mai simplă decât transfigurarea în stea de tipul celei din electrotehnică și, în același timp, necesară și suficientă pentru scopul urmărit.

Problema se complică, într-o anumită măsură, în acest caz datorită faptului că, în cazul circuitelor electrice (și nu numai în acest caz), căile de alimentare 1-2, 1-3 și 2-3 pot fi diferit dimensionate în funcție de sarcina maximă și, respectiv, sarcina prioritară a celor doi consumatori.

Se va considera, în cele ce urmează, cazul unei instalații de distribuție a energiei electrice la consumatori, putându-se proceda, în mod similar, și în cazul altor tipuri de instalații.

Fie $P_2 > P_3$, fără a micșora generalitatea, P_2 și P_3 fiind puterile corespunzătoare sarcinii maxime a consumatorilor 2 și 3.

Se disting 4 cazuri pentru schema din fig. II.14.11 a în funcție de puterea luată în calcul la dimensionarea celor 3 circuite, prezentate în tabelul II.14.2, unde $k_i \cdot P_i$ este puterea corespunzătoare sarcinii prioritare a consumatorului i,

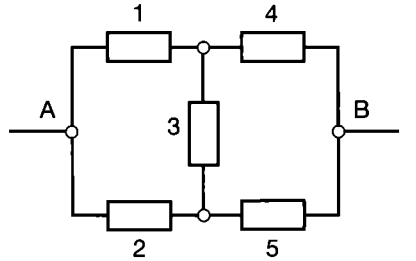


Fig. II.14.12. Schemă logică pentru un sistem cu cinci elemente.

$0 < k_i \leq 1$, $i = \{2,3\}$ și, prin ipoteză, se consideră $P_2 > P_3 + k_2 \cdot P_2$.

În cazul în care ultima și singura restricție nu e realizată, pot fi mai mult de 4 cazuri, iar analiza se poate face prin aceleași procedee pentru fiecare caz concret în parte.

Problema constă în determinarea parametrilor echivalenți de fiabilitate la nivelul nodurilor (consumatorilor) 2 și 3. Cea mai comodă metodă de rezolvare a acestei probleme este procedeul grupurilor de defectare cu utilizarea relațiilor aproximative din tabelul II.14.1, analog cu calculul pentru stabilirea relațiilor 14.5.34 și 14.5.35.

Cazul 1. Schema logică de fiabilitate din fig. II.14.11 a, se echivalează ușor cu schema din fig. II.14.11 b unde:

$$\lambda_2 = \lambda_{12} \cdot (s_{13} + s_{23}) + (\lambda_{13} + \lambda_{23}) \cdot s_{12} \quad (14.5.36)$$

$$s_2 = s_{12} \cdot (s_{13} + s_{23}) \quad (14.5.37)$$

pentru consumatorul 2, respectiv:

$$\lambda_3 = \lambda_{13} \cdot (s_{12} + s_{23}) + (\lambda_{12} + \lambda_{23}) \cdot s_{13} \quad (14.5.38)$$

$$s_3 = s_{13} \cdot (s_{12} + s_{23}) \quad (14.5.39)$$

pentru consumatorul 3.

Cazul 2. Pentru λ_2 și s_2 se obțin relațiile:

$$\lambda_2 = \lambda_{12} \quad (14.5.40)$$

$$s_2 = s_{12} \quad (14.5.41)$$

Pentru λ_3 și s_3 rezultă relații identice cu 14.5.38 și 14.5.39:

$$\lambda_{2p} = \lambda_{12} \cdot (s_{13} + s_{23}) + (\lambda_{13} + \lambda_{23}) \cdot s_{12} \quad (14.5.42)$$

$$s_{2p} = s_{12} \cdot (s_{13} + s_{23}) \quad (14.5.43)$$

unde cu λ_{2p} și s_{2p} s-au notat parametrii de fiabilitate ai alimentării cu energie electrică a receptoarelor vitale din consumatorul 2, prin schema din fig. II.14.11 a transfigurată în fig. II.14.11 b.

Cazul 3. Pentru λ_2 și s_2 se aplică relațiile 14.5.40 și 14.5.41 iar pentru λ_3 și s_3 relațiile 14.5.38 și 14.5.39.

Cazul 4. Pentru λ_2 și s_2 se aplică relațiile 14.5.40 și 14.5.41 iar pentru consumatorul 3:

$$\lambda_3 = \lambda_{13} \quad (14.5.44)$$

$$s_3 = s_{13} \quad (14.5.45)$$

$$\lambda_{3p} = \lambda_{13} \cdot (s_{12} + s_{23}) + (\lambda_{12} + \lambda_{23}) \cdot s_{13} \quad (14.5.46)$$

$$s_{3p} = s_{13} \cdot (s_{12} + s_{23}) \quad (14.5.47)$$

unde s_{3p} și s_{3p} au semnificații analoage cu λ_{2p} și s_{2p} din cazul 2.

O caracteristică comună pentru toate aceste transfigurări constă în faptul că schemele în triunghi sau cu legături transversale au fost transfigurate în schemele simple radiale.

14.5.3. Aplicații

Exemplul 1. Se determină disponibilitatea și durata medie totală de indisponibilitate pentru instalația din figura II.14.12, în cazul în care elementele sunt diferite din punct de vedere al fiabilității, având:

$\lambda_1 = 0{,}3$ an^{-1},
$\lambda_2 = 0{,}4$ an^{-1},
$\lambda_3 = 0{,}5$ an^{-1},
$\lambda_4 = 0{,}6$ an^{-1},
$\lambda_5 = 0{,}7$ an^{-1},
$\mu_1 = 35$ an^{-1},
$\mu_2 = 42$ an^{-1},
$\mu_3 = 50$ an^{-1},
$\mu_4 = 57$ an^{-1} și
$\mu_5 = 65$ an^{-1} pentru durata $T = 1$ an.

Este cazul unei instalații clasice de tip „puncte" reprezentată în figură direct prin schema logică de fiabilitate în care elementele componente 1, 2, 3, 4 și 5 reprezintă căi de trecere (pentru fluide, energie, informație etc.).

Cerința funcțională: existența unei căi de trecere de la A la B.

Soluție. Se poate folosi metoda soluției generale:

$n = 5$

$F = (0\ 1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 7\ 8\ 9\ 10\ 11\ 12\ 13\ 14\ 19\ 23)$

Nr. căi	λ	μ	U.M.
1	3.00E-01	3.50E+01	[an^{-1}]
2	4.00E-01	4.20E+01	[an^{-1}]
3	5.00E-01	5.00E+01	[an^{-1}]
4	6.00E-01	5.70E+01	[an^{-1}]
5	7.00E-01	6.50E+01	[an^{-1}]

$T = 1$ an

A1 = 9.915014E-01 U1 = 8.498584E-03
A2 = 9.905660E-01 U2 = 9.433962E-03
A3 = 9.900990E-01 U3 = 9.900990E-03
A4 = 9.895833E-01 U4 = 1.041667E-02
A5 = 9.893455E-01 U5 = 1.065449E-02

Nr crt.	Căi de trecere 1	2	3	4	5		Probabilitatea stării	
0	F	F	F	F	F	F	A1 A2 A3 A4 A5	9.52E-01
1	D	F	F	F	F	F	U1 A2 A3 A4 A5	8.16E-03
2	F	D	F	F	F	F	A1 U2 A3 A4 A5	9.07E-03
3	F	F	D	F	F	F	A1 A2 U3 A4 A5	9.52E-03
4	F	F	F	D	F	F	A1 A2 A3 U4 A5	1.00E-02
5	F	F	F	F	D	F	A1 A2 A3 A4 U5	1.03E-02
6	D	D	F	F	F	D	U1 U2 A3 A4 A5	7.77E-05
7	D	F	D	F	F	F	U1 A2 U3 A4 A5	8.16E-05
8	D	F	F	D	F	F	U1 A2 A3 U4 A5	8.59E-05
9	D	F	F	F	D	F	U1 A2 A3 A4 U5	8.79E-05
10	F	D	D	F	F	F	A1 U2 U3 A4 A5	9.07E-05
11	F	D	F	D	F	F	A1 U2 A3 U4 A5	9.54E-05
12	F	D	F	F	D	F	A1 U2 A3 A4 U5	9.76E-05
13	F	F	D	D	F	F	A1 A2 U3 U4 A5	1.00E-04
14	F	F	D	F	D	F	A1 A2 U3 A4 U5	1.03E-04
15	F	F	F	D	D	D	A1 A2 A3 U4 U5	1.08E-04
16	D	D	D	F	F	D	U1 U2 U3 A4 A5	7.77E-07
17	D	D	F	D	F	D	U1 U2 A3 U4 A5	8.18E-07
18	D	D	F	F	D	D	U1 U2 A3 A4 U5	8.37E-07
19	D	F	D	D	F	F	U1 A2 U3 U4 A5	8.59E-07
20	D	F	D	F	D	D	U1 A2 U3 A4 U5	8.79E-07
21	D	F	F	D	D	D	U1 A2 A3 U4 U5	9.25E-07
22	F	D	D	D	F	D	A1 U2 U3 U4 A5	9.54E-07
23	F	D	D	F	D	F	A1 U2 U3 A4 U5	9.76E-07
24	F	D	F	D	D	D	A1 U2 A3 U4 U5	1.03E-06
25	F	F	D	D	D	D	A1 A2 U3 U4 U5	1.08E-06
26	D	D	D	D	F	D	U1 U2 U3 U4 A5	8.18E-09
27	D	D	D	F	D	D	U1 U2 U3 A4 U5	8.37E-09
28	D	D	F	D	D	D	U1 U2 A3 U4 U5	8.81E-09
29	D	F	D	D	D	D	U1 A2 U3 U4 U5	9.25E-09
30	F	D	D	D	D	D	A1 U2 U3 U4 U5	1.03R-08
31	D	D	D	D	D	D	U1 U2 U3 U4 U5	8.81E-11

$A = 9.998070E\text{-}01$

$\beta(T) = 0.00193$ an $= 16.9068$ h

Exemplul 2. Se rezolvă problema din exemplul 1 în cazul în care elementele sunt identice din punct de vedere al fiabilității, având:
$\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0{,}5$ an^{-1} și
$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = 50$ an^{-1} pentru duarata $T = 1$ an.

Soluție. Se poate folosi metoda soluției generale.
$n = 5$

Nr. căi	λ	μ	U.M.
1	3.00E-01	3.50E+01	[an^{-1}]
2	4.00E-01	4.20E+01	[an^{-1}]
3	5.00E-01	5.00E+01	[an^{-1}]
4	6.00E-01	5.70E+01	[an^{-1}]
5	7.00E-01	6.50E+01	[an^{-1}]

F = (0 1 2 3 4 5 7 8 9 10 11 12 13 14 19 23)
T = 1 an
A1 = 9.9009901E-01 U1 = 9.99009901E-03
A2 = 9.9009901E-01 U2 = 9.99009901E-03
A3 = 9.9009901E-01 U3 = 9.99009901E-03
A4 = 9.9009901E-01 U4 = 9.99009901E-03
A5 = 9.9009901E-01 U5 = 9.99009901E-03

Nr	Căi de trecere						Probababilitatea stării	
crt.	1	2	3	4	5			
0	F	F	F	F	F	F	A1 A2 A3 A4 A5	9.51E-01
1	D	F	F	F	F	F	U1 A2 A3 A4 A5	9.51E-03
2	F	D	F	F	F	F	A1 U2 A3 A4 A5	9.51E-03
3	F	F	D	F	F	F	A1 A2 U3 A4 A5	9.51E-03
4	F	F	F	D	F	F	A1 A2 A3 U4 A5	9.51E-03
5	F	F	F	F	D	F	A1 A2 A3 A4 U5	9.51E-03
6	D	D	F	F	F	D	U1 U2 A3 A4 A5	9.51E-05
7	D	F	D	F	F	F	U1 A2 U3 A4 A5	9.51E-05
8	D	F	F	D	F	F	U1 A2 A3 U4 A5	9.51E-05
9	D	F	F	F	D	F	U1 A2 A3 A4 U5	9.51E-05
10	F	D	D	F	F	F	A1 U2 U3 A4 A5	9.51E-05
11	F	D	F	D	F	F	A1 U2 A3 U4 A5	9.51E-05
12	F	D	F	F	D	F	A1 U2 A3 A4 U5	9.51E-05
13	F	F	D	D	F	F	A1 A2 U3 U4 A5	9.51E-05
14	F	F	D	F	D	F	A1 A2 U3 A4 U5	9.51E-05
15	F	F	F	D	D	D	A1 A2 A3 U4 U5	9.51E-05
16	D	D	D	F	F	D	U1 U2 U3 A4 A5	9.51E-07
17	D	D	F	D	F	D	U1 U2 A3 U4 A5	9.51E-07
18	D	D	F	F	D	D	U1 U2 A3 A4 U5	9.51E-07
19	D	F	D	D	F	F	U1 A2 U3 U4 A5	9.51E-07
20	D	F	D	F	D	D	U1 A2 U3 A4 U5	9.51E-07
21	D	F	F	D	D	D	U1 A2 A3 U4 U5	9.51E-07
22	F	D	D	D	F	D	A1 U2 U3 U4 A5	9.51E-07
23	F	D	D	F	D	F	A1 U2 U3 A4 U5	9.51E-07
24	F	D	F	D	D	D	A1 U2 A3 U4 U5	9.51E-07
25	F	F	D	D	D	D	A1 A2 U3 U4 U5	9.51R-07
26	D	D	D	D	F	D	U1 U2 U3 U4 A5	9.51E-09
27	D	D	D	F	D	D	U1 U2 U3 A4 U5	9.51E-09
28	D	D	F	D	D	D	U1 U2 A3 U4 U5	9.51E-09
29	D	F	D	D	D	D	U1 A2 U3 U4 U5	9.51E-09
30	F	D	D	D	D	D	A1 U2 U3 U4 U5	9.51E-09
31	D	D	D	D	D	D	U1 U2 U3 U4 U5	9.51E-11

Observații:
- Rezultatul obținut pentru A este cuprins între valorile obținute prin calcul direct prin metoda soluției generale, respectiv, procedeul grupurilor de defectare (0,999797; 0,999804; 0,999802). Rezultatul obținut pentru $\beta(T)$ este mai mic decât cele obținute prin rezolvările precedente (1,778 h; 1,752 h; 1,734 h). Diferențele, evident nesemnificative pentru scopurile practice, constituie un argument important în favoarea validării utilizării procedeului grupurilor de defectare în ingineria fiabilității instalațiilor.
- Rezolvarea asistată de calculator, în ultimul exemplu, are în vedere intervenția rezolvatorului numai la gruparea stărilor instalației în stări de funcționare (F) și de defect (D) în cea de a 7-a coloană a tabelului (matricii) oferite de calculator.

II. Instalații electrice

Capitolul 15

Măsuri de protecție a omului ce se iau în execuția și exploatarea instalațiilor electrice

15.1. Probleme generale

Normele cele mai importante ce prevăd măsurile de protecție a muncii pentru activitățile care se desfășoară în instalațiile electrice de joasă tensiune sunt:
- Legea 319-2506 - Legea securității muncii și sănătății în muncă;
- Norme de protecție a muncii pentru activități în instalațiile electrice - Normativ PE 119/90;
- Regulamentul general de manevrare în instalațiile electrice;
- Normativul PE 118/1999.

În afara acestora există regulamente proprii unor sectoare de activitate ce prevăd măsuri specifice de protecție a muncii.

15.2. Condiții tehnice

Din punctul de vedere al normelor de protecție trebuie îndeplinite următoarele:
- instalațiile electrice să fie concepute, proiectate și executate astfel încât să permită desfășurarea, în condiții de siguranță, a activităților de construcții - montaj și exploatare - reparații, în conformitate cu prevederile și prescripțiile în vigoare;
- instalațiile electrice să fie construite astfel încât să se prevină accidentele ca urmare a accesului persoanelor neavizate în instalații;
- instalațiile electrice aeriene să respecte gabaritele prevăzute în prescripțiile tehnice în vigoare și să fie prevăzute cu indicatoare de interzicere a elementelor sub tensiune, a atingerii conductoarelor căzute, a stâlpilor;
- instalațiile electrice interioare sau exterioare îngrădite trebuie încuiate și prevăzute cu indicatoare de avertizare etc;
- proiectele instalațiilor electrice prevăd dotările și amenajările necesare în vederea desfășurării normale a activităților de exploatare și reparații;
- instalațiile ce au suferit reparații capitale trebuie să fie astfel concepute și executate încât să respecte, integral, prescripțiile și legislația tehnică în vigoare, din acel moment;
- instalațiile electrice temporare respectă aceleași condiții, din punctul de vedere al protecției împotriva accidentelor ca și instalațiile definitive;
- instalațiile electrice care, din diferite motive (uzură, depășire a parametrilor nominali, deranjamente etc.) nu se încadrează în procedurile normativelor tehnice în vigoare, trebuie readuse la parametrii nominali de funcționare cu ocazia lucrărilor de reparații.

Până la remediere se iau măsurile necesare pentru evidențierea și avertizarea stării anormale și se stabilesc instrucțiuni specifice pentru executarea lucrărilor sau operațiilor curente de exploatare (de exemplu: stâlpi pentru linii electrice, putreziți; întreruptoare cu capacitatea de rupere depășită; condensatoare ce curg etc.).

15.3. Responsabilitățile pentru aplicarea normelor de protecție a muncii

Cunoașterea, respectarea și aplicarea normelor de protecție a muncii - generale și specifice - sunt obligatorii pentru întregul personal din proiectare, construcție-montaj și exploatare-reparații instalații electrice.

Proiectantul prevede în proiect măsuri de protecție a muncii pentru construirea, exploatarea și repararea instalațiilor electrice, potrivit prevederilor legale în vigoare, inclusiv, cele speciale necesare pentru execuția propriu-zisă a lucrărilor ce fac obiectul proiectului, precum și pentru operațiile de racordare, punere în funcțiune, probe, exploatare și reparații ale acestora.

Verificatorul de proiect verifică proiectul astfel ca acesta să respecte integral cerințele de calitate prevăzute de L10/1995 - Legea calității lucrărilor din construcții.

Verificatorul de proiect este solidar cu proiectantul în fața autorităților legale.

Unitatea constructoare are obligația de a realiza toate lucrările de instalații electrice în conformitate cu normele de protecție a muncii existente în vigoare la data execuției, chiar dacă o parte din acestea nu sunt cuprinse în proiect.

Comisia de recepție, stabilită conform normelor în vigoare, nu va permite punerea în funcțiune a instalațiilor electrice noi sau reparate capital, dacă acestea nu respectă, în totalitate, condițiile prevăzute în normele și prescripțiile tehnice în vigoare.

Unitatea de exploatare asigură instruirea personalului său, în conformitate cu normele în vigoare, și instructajul periodic al acestuia pentru a se asigura că acesta posedă cunoștințele corespunzătoare de protecție a muncii.

În funcție de condițiile locale specifice instalației electrice sau pentru lucrări ce prezintă un grad sporit de periculozitate, unitatea poate elabora instrucțiuni tehnice interne, specifice, cu detalii sau măsuri suplimentare de protecție a muncii, fără a contraveni normelor generale.

Personalul care își desfășoară activitatea în domeniile exploatării și reparării instalațiilor electrice trebuie să îndeplinească următoarele condiții:
- să fie sănătos fizic și psihic și să nu aibă infirmități ce i-ar stânjeni activitatea lui sau a altor persoane;
- să aibă calificarea corespunzătoare lucrărilor ce i se încredințează;
- să cunoască, să-și însușească și să respecte normele de protecție a muncii care privesc funcția și locul de muncă în care lucrează;
- să cunoască procedeele de scoatere de sub tensiune a persoanelor electrocutate și de acordare a măsurilor de prim ajutor.

15.4. Principalele mijloace de protecție electroizolante utilizate în instalațiile electrice de joasă tensiune

Înainte de utilizarea unui mijloc de protecție electroizolant, personalul este obligat să verifice:
- tensiunea la care este permisă utilizarea acestuia;
- starea tehnică generală, pentru a nu prezenta defecte care să-l facă inutilizabil;
- dacă echipamentul nu a depășit termenul de la ultima încercare periodică.

Principalele mijloace de protecție electroizolante sunt:
1. *Prăjinile electroizolante* sunt folosite pentru:
   - manevrarea separatoarelor aflate la înălțime;
   - montarea și demontarea scurtcircuitelor;
   - îndepărtarea unor obiecte aflate pe părțile sub tensiune sau din apropierea lor;
   - descărcarea de sarcini capacitive etc.
2. *Cleștii electroizolanți* servesc la:
   - montarea și demontarea patroanelor fuzibilelor, degetarelor electroizolante etc.
3. *Cleștii ampermetrici* se folosesc la:
   - măsurarea curentului în rețele de joasă tensiune.
4. *Indicatoarele de tensiune* se folosesc pentru verificarea prezenței sau absenței tensiunii în instalațiile electrice. Acestea trebuie să sesizeze prezența unei tensiuni (față de pământ) egală cu cel puțin 25 % din tensiunea nominală a indicatorului.
5. *Indicatoarele de corespondență* a fazelor ce se folosesc pentru punerea corectă în paralel a două instalații (cu tensiunea până la cel mult 20 kV) sau pentru determinarea succesiunii fazelor și efectuarea corectă a legăturilor electrice.
6. *Plăcile electroizolante* se folosesc pentru a împiedica închiderea unui separator sau conectarea unui întreruptor prin care s-a creat o separare vizibilă sau pentru a împiedica tensiunile produse de o instalație de încercare să determine o amorsare a arcului electric dinspre instalația încercată înspre restul instalațiilor.

7. *Tecile electroizolante* se folosesc la izolarea conductoarelor electrice din liniile electrice de joasă tensiune, în timpul executării lucrărilor, direct la părțile aflate sub tensiune.
8. *Pălăriile electroizolante* ce se folosesc la izolarea legăturilor electrice la izolatoarele liniilor electrice de joasă tensiune și la izolarea elementelor cutiilor de distribuție subterane atunci când se execută lucrări direct la părțile aflate sub tensiune.
9. *Foliile electroizolante ce* sunt utilizate în instalațiile de joasă tensiune pentru izolarea părților aflate sub tensiune din apropiere, în cazul lucrărilor la panouri sau tablouri de distribuție. Se pot folosi în locul tecilor și pălăriilor electroizolante.
10. *Degetarele electroizolante* se folosesc în instalațiile de joasă tensiune, prin aplicarea directă pe capetele conductoarelor dezlegate de la aparate, în timpul executării unor lucrări la acestea. Lungimea degetarelor electroizolante se alege astfel încât acestea să acopere partea izolată a conductoarelor pe cel puțin 10 mm. Montarea și demontarea se fac fie cu cleștele electroizolant, fie cu mâna liberă dacă lucrătorul stă pe un covor electroizolant.
11. *Mănușile electroizolante* se folosesc atunci când se lucrează la părți ale instalației electrice direct sub tensiune. De regulă, sunt utilizate împreună cu ochelarii de protecție împotriva efectului arcului electric, cu șorț și cu cizmele electroizolante.
12. *Covoarele electroizolante* se folosesc pentru izolarea lucrătorului față de pământ, atunci când intervine la o instalație electrică (pentru manevre, măsurări etc.). Acestea sunt mobile (600x600 mm^2) sau fixe. Cele fixe se amplasează în fața și în spatele panourilor de comandă, protecție, măsură sau distribuție din stațiile de transformare, centrale electrice sau din încăperi destinate echipamentelor electrice respective. Cele mobile se utilizează la punctul de lucru în conformitate cu normele de protecție a muncii.
13. *Plafoanele electroizolante* au același rol ca și covoarele electroizolante. Acestea sunt confecționate din materiale izolatoare rezistente (fără părți metalice de fixare), cu dimensiunile minime de 500x500x100 mm^3.
14. *Mijloacele de protecție pentru legarea la pământ și în scurtcircuit a instalațiilor electrice.* Acestea cuprind:
   a. *scurtcircuitoarele,* destinate a proteja personalul împotriva electrocutării în cazul apariției accidentale a tensiunii în zona de lucru, ca urmare a unor manevre greșite, a descărcărilor electrice etc. Conductoarele scurtcircuitoarelor vor fi din cupru cu secțiunea minimă dată de relația:

$$s_{min} = \frac{I_{sc} \cdot \sqrt{t}}{j_{ad}} \quad [mm^2]$$

în care:
- I_{sc} - este curentul de scurtcircuit trifazat [*A*] stabilit la locul de montare a scurtcircuitoarelor;
- t - timpul de deconectare a defectului, corespunzător protecției de rezervă a elementului pe care s-a montat scurtcircuitorul;
- j_{ad} - densitatea de curent admisibilă la scurtcircuit timp de o secundă, conform STAS 6670.

Secțiunea minimă poate fi realizată și prin montarea în paralel a 2-3 scurtcircuitoare. În acest caz secțiunea minimă se va majora cu 25 % față de cea obținută prin calcul.

Secțiunea minimă a conductoarelor scurtcircuitoarelor nu va fi mai mică de 16 mm^2, pentru a se asigura o bună rezistență la uzură în timp.

   b. *dispozitivele pentru descărcarea de sarcină capacitivă a elementelor bateriilor de condensatoare* destinate a proteja personalul împotriva electrocutării la executarea de lucrări la aceste baterii sau elementele lor. Aceste dispozitive se compun din: prăjină electroizolantă corespunzătoare tensiunii bateriei; rezistență de descărcare de sarcină capacitivă a bateriei; rezistență de descărcare de sarcină capacitivă a elementelor baterie de condensatoare; rezistență de descărcare de sarcină capacitivă a bateriei după măsuri sau încercări și conductoare de legare la pământ și în scurtcircuit a elementelor bateriei de condensatoa-re.
   c. *dispozitivele pentru descărcarea de sarcină capacitivă a cablurilor după încercări*, care se compun din: prăjină electroizolantă corespunzătoare tensiunii de încercare; rezistență de limitare a curentului de descărcare și conductorul de descărcare a sarcinii capacitive a cablului (prin legare la o priză de pământ).
15. *Mijloace de protecție pentru delimitarea materială a zonei de lucru.* Au rolul de a îngrădi zona de lucru, pentru a nu permite accesul involuntar al persoanelor străine precum și de a nu permite părăsirea sau depășirea liberă a ei de către membrii formației de lucru. Aceste mijloace cuprind: bariere, frânghii și benzi pentru împrejmuire, panouri și paravane mobile, indicatoare de securitate.
16. *Mijloace de protecție împotriva efectelor acțiunii arcului electric și a traumatismelor mecanice.* Acestea constau în ochelari de protecție, mănuși și șorț electroizolante, căști de protecție și centuri de siguranță. Aceasta din urmă se utilizează ori de câte ori se lucrează la o înălțime mai mare de 2 m, de la sol până la picioarele executantului, și locul de muncă nu are îngrădiri sigure de protecție împotriva căderii.

În funcție de particularitățile locului de intervenție se pot utiliza și alte mijloace de protecție decât cele menționate (cum ar fi dispozitive de urcat - cârlige cu gheare sau tampoane din cauciuc - scări din lemn sau metal etc.).

15.5. Măsuri tehnice de protecție a muncii la executarea de lucrări cu scoaterea de sub tensiune, în exploatarea instalațiilor electrice

Pentru executarea de lucrări la instalațiile electrice este necesară scoaterea de sub tensiune:
- a instalațiilor sau a părților instalațiilor la care urmează a se lucra;
- a instalațiilor învecinate sau a părților instalațiilor învecinate care se găsesc la o distanță mai mică decât distanța limită la care se pot apropia executanții, utilajele, materialele sau uneltele necesare executării lucrărilor, fără pericol. În instalațiile sub 1 kV, distanțele limită nu sunt normate, dar este interzisă atingerea directă a părților aflate sub tensiune. Peste 1 kV acestea depind de tensiunea instalației.

Pentru intervenție în instalațiile electrice este necesar să se delimiteze următoarele zone:
- de protecție;
- de lucru.

Zona de protecție se realizează prin următoarele măsuri tehnice:
- întreruperea tensiunii și separarea vizibilă a instalației sau a părților instalației;
- blocarea în poziția deschis a dispozitivelor de acționare ale aparatelor de comutație prin care s-a făcut separarea vizibilă și montarea indicatoarelor de securitate cu caracter de interzicere a manevrării acestor dispozitive („NU INCHIDE", „SE LUCREAZA" etc.);
- verificarea lipsei tensiunii;
- legarea instalației sau a părții din instalație la pământ și în scurtcircuit.

Zona de lucru se realizează prin lua-

rea următoarelor măsuri tehnice:
- verificarea lipsei tensiunii;
- legarea la pământ și în scurtcircuit a instalației sau a părții din instalație;
- delimitarea materială a zonei de lucru cu mijloacele adecvate, prin îngrădiri evidente;
- asigurarea împotriva accidentelor de natură neelectrică.

După terminarea lucrării se procedează astfel:
- se verifică starea tehnică a lucrării executate pentru a avea certitudinea că instalația se află în starea de a putea fi pusă sub tensiune;
- se strâng sculele și materialele și se curăță punctul de lucru;
- se demontează mijloacele de protecție din zona de lucru;
- se evacuează formația de lucru;
- se pune sub tensiune instalația. În cazuri deosebite, instalația poate fi pusă sub tensiune înainte de terminarea normală a lucrării. În astfel de situații lucrarea trebuie încheiată în cel mai scurt timp și echipa de intervenție evacuată din zonă.

În cazul lucrărilor la instalații cu tensiune nominală peste 1 kV, punerea sub tensiune se execută numai cu acordul șefului ierarhic superior, după ce se comunică acestuia că lucrarea a fost terminată.

15.6. Norme specifice de protecție a muncii pentru activități la instalațiile electrice de producere, transport și distribuție a energiei electrice

PE119/90 prevede astfel de norme pentru următoarele categorii de lucrări în instalațiile electrice din:
- stațiile electrice de transformare și/sau de conexiuni;
- punctele de alimentare și posturile de transformare:
- liniile electrice aeriene;
- liniile electrice subterane;
- circuitele secundare, de comandă și automatizare;
- executarea măsurătorilor cu aparate portabile;
- generatoare, compensatoare și motoare electrice;
- bateriile de acumulatoare staționare;
- bateriile de condensatoare;
- instalațiile de telecomunicații aferente rețelelor electrice;
- executarea verificărilor și reparațiilor aparatelor electrice din laboratoare (pentru măsurare, protecție, control și automatizare);
- instalații de iluminat exterior, stradal sau de incintă;
- alimentarea cu energie electrică a consumatorilor.

Respectarea normelor specifice fiecărei categorii de lucrări are ca rezultat:
- evitarea accidentelor de orice fel;
- realizarea de lucrări ce asigură un grad mare de fiabilitate instalațiilor electrice.

15.7. Măsuri de prim ajutor în caz de accidente

Generalități. Fiecare formație de lucru va fi dotată cu trusă sanitară de prim ajutor, prevăzută cu medicamente și consumabile în limitele baremurilor aflate în vigoare. Pe măsura utilizării lor sau a expirării termenului de valabilitate acestea se vor completa sau înlocui. Întregul personal de exploatare - reparații și de construcții - montaj angrenat în executarea de manevre și lucrări la instalațiile electrice trebuie să cunoască cel puțin următoarele măsuri de prim ajutor:
- scoaterea unui accidentat de sub acțiunea curentului electric;
- efectuarea respirației artificiale;
- în caz de arsuri;
- în caz de răniri cu hemoragie;
- în caz de fracturi.

Măsuri de prim ajutor în caz de electrocutare

Electrocutatul se află sub tensiune și trebuie scos cât mai repede de sub tensiune. Persoana care intervine nu trebuie să se expună pericolului de punere sub tensiune. Aceasta va deconecta instalația ce se află în contact cu electrocutatul astfel:
- prin manevrarea echipamentului de deconectare când acesta se află în apropiere sau:
- prin realizarea unui scurtcircuit în amonte de electrocutat, prin aruncarea unui conductor legat la pământ, peste faze. Anterior, își va lua toate măsurile de a nu se expune efectului arcului electric sau atingerii directe a instalației aflate sub tensiune.

Dacă instalația nu poate fi deconectată, se va încerca îndepărtarea de electrocutat a conductoarelor aflate sub tensiune, având grijă de a nu se expune atingerii directe. Se vor utiliza mănușile electroizolante, prăjina electroizolantă, covorul sau platforma electroizolantă. Totodată se vor lua măsuri de prevenire a căderii electrocutatului, înainte de întreruperea tensiunii.

În toate cazurile se vor folosi mijloacele de protecție adecvate. După ce electrocutatul a fost scos de sub tensiune este chemat medicul. Până la sosirea acestuia i se va face respirație artificială prin insuflare de aer. Aceasta se execută local, fără a transporta electrocutatul, după ce a fost degajat la gât și la brâu și i s-au scos ochelarii, în cazul că îi are.

Până la revenirea completă, electrocutatului nu i se dă nimic de băut. După revenire i se pot da lichide calde, nealcoolice.

Persoana care acordă ajutorul trebuie să știe că într-un asemenea accident, electrocutatul prezintă uneori mișcări convulsive în momentul revenirii, după care poate urma o nouă pierdere a respirației. De aceea respirația artificială nu va fi abandonată decât după revenirea completă sau la apariția semnelor specifice morții - pe care numai medicul le poate aprecia.

Respirația artificială prin insuflare de aer se face prin unul dintre sisteme: „gură la gură" sau „gură la nas".

Acestea se pot utiliza cu accidentatul în poziție orizontală (culcat pe spate), în poziție șezând sau în poziție verticală.

Când metodele de mai sus fie nu se cunosc, fie nu se pot aplica, se poate efectua respirația artificială manuală (sau metoda „Silvester modificată") sau se poate utiliza un aparat manual portabile pentru respirație artificială.

Măsuri de prim ajutor în caz de arsuri

Arsurile pot proveni ca urmare a efectului arcului electric sau prin acțiunea unor agenți chimici. Arsurile localizate, care nu sunt întinse pe suprafețe mari și nici profunde, se vor trata la fața locului astfel:
- se înlătură corpurile străine de pe rană și din jurul ei;
- se spală cu soluție de bromurat sau rivanol;
- se aplică un strat subțire de vată hidrofilă și un bandaj strâns ușor;
- se transportă accidentatul la cel mai apropiat punct sanitar.

Sunt interzise:
- curățarea rănilor cu obiecte aspre;
- întrebuințarea apei pentru curățire;
- aplicarea de substanțe grase;
- utilizarea de soluții cu acid picric.

În cazul arsurilor grave (întinse) se va proceda astfel:
- nu se va dezbrăca accidentatul;
- nu se va sufla deasupra rănilor și
- nu se va face nici un tratament local;
- se va acoperi accidentatul cu o pânză sterilă;
- se va transporta de urgență la un spital de specialitate.

În cazul arsurilor provocate de agenți chimici se va spăla locul arsurii cu foarte multă apă, după care:
- pentru arsuri provocate de acizi se va spăla cu soluție de bicarbonat de sodiu 2%;
- pentru arsuri provocate de substanțe alcaline se va spăla locul cu o soluție de acid acetic 1% sau cu apă cu oțet (nouă părți apă la una de oțet);
- pentru arsuri provocate de fosfor sau

substanțe cu fosfor se va spăla locul cu o soluție de sulfat de cupru 5 %;
- pentru arsuri provocate de gudroane se va șterge locul cu tampoane de vată hidrofilă, îmbibate în eter pentru a înlătura particulele de gudron; nu se va insista dacă aderența acestora este mare;
- în toate cazurile, rănile se vor pansa cu pansament steril uscat, fără alte soluții și accidentatul va fi transportat la un spital de specialitate.

Măsuri de prim ajutor în caz de răniri cu hemoragie

Rănirile pot fi:
- ușoare și puțin profunde; se vor trata local de către cel ce acordă primul ajutor, pentru a evita infectarea;
- grave, profunde sau întinse - accidentatul va fi transportat imediat la medic.

În primul ajutor sunt interzise:
- spălarea rănilor cu apă sau cu substanțe farmaceutice; aceasta se poate face numai de personalul calificat;
- atingerea rănilor chiar cu mâinile spălate și dezinfectate;
- utilizarea de alifii sau prafuri pentru acoperirea rănilor;
- nu se vor îndepărta cheagurile de sânge de pe răni pentru a nu provoca hemoragii.

În cadrul primului ajutor rănile vor fi acoperite cu pansamente și bandaje sterile. În locul acestora, atunci când trusa de prim ajutor lipsește, se poate utiliza o pânză curată.

Atunci când rănile sunt însoțite de hemoragii se va interveni pentru oprirea acestora.

Hemoragiile pot fi:
- venoase și capilare; sângerarea este abundentă, iar sângele are culoarea roșu închis;
- arterială; sângerarea este sacadată și sângele este de culoare roșu deschis; acestea sunt foarte grave putând provoca moartea în câteva minute.

Hemoragiile arteriale importante necesită o intervenție rapidă. Oprirea scurgerii sângelui se va face:
- prin compresie (apăsare), cu ajutorul mâinilor, în apropierea rănii;
- prin folosirea unui garou; în acest caz se va menționa pe un bilet ce-l va însoți pe accidentat, ora exactă la care a fost pus garoul; accidentatul este apoi transportat de urgență la spital; dacă transportul durează, garoul se slăbește din 20 în 20 de minute; dacă hemoragia a încetat garoul se înlătură.

Compresia se va face totdeauna între rană și inimă. Accidentatul nu va fi părăsit până nu va fi predat unui medic sau personalului sanitar specializat.

Măsuri de prim ajutor în caz de fracturi

Fracturile sunt caracterizate de: dureri foarte mari, imposibilitate de a mișca membrele, deformații. Persoana care acordă primul ajutor va trebui:
- să nu miște accidentatul;
- să dezvelească zona unde s-a produs fractura pentru a constata dacă este deschisă sau închisă; fractura deschisă va fi acoperită cu pansamente sterile pentru a preîntâmpina o eventuală infecție;
- va realiza imobilizarea fracturii pentru a nu agrava stare accidentatului.

Imobilizarea se va realiza în funcție de membru și de locul unde s-a produs fractura. Este bine ca imobilizarea să se facă în prezența unei persoane calificate.

În cazul fracturilor craniene, accidentatul va fi transportat culcat, la cel mai apropiat centru chirurgical și va rămâne în evidența acestuia cel puțin 48 de ore. Aceasta este necesar deoarece perceperea traumatismului de către accidentat se manifestă cu întârziere de câteva ore. De regulă acestea sunt însoțite de dureri de cap, hemoragii pe nas, înroșirea ochilor etc.

În cazul fracturii coloanei vertebrale sau a bazinului nu se face nici o imobilizare. Aceste sunt de o gravitate excepțională și accidentatul va fi transportat la cel mai apropiat punct medical pentru a fi văzut de un medic specialist. Accidentatul se așează pe o planșetă tare, prin rostogolire, cât se poate de încet. Este interzisă transportarea pe brațe pentru a nu agrava starea accidentatului.

În cazul fracturilor de coaste va fi imobilizat toracele cu un bandaj strâns, realizat printr-o fașă. Transportul la punctul medical se face în poziție șezând.

II. Instalații electrice

Capitolul 16

Simboluri utilizate în scheme și planuri

Tipuri de simboluri

Simbolurile grafice pentru scheme electrice sunt stabilite prin SR EN 60617:1999 (corespunde CEI 60617:1983.

În unele cazuri, pentru același element sunt indicate mai multe semne convenționale, astfel:
- o formă preferențială, una sau mai multe forme tolerate;
- o formă simplificată, o formă detaliată;
- pentru modul de reprezentare: monofilar, multifilar.

Combinarea și compunerea simbolurilor grafice.

Standardele nu conțin simboluri pentru toate utilizările posibile.

Anumite simboluri se pot obține prin combinarea între ele a simbolurilor existente în standarde sau cu simbolurile literale.

Alegerea simbolurilor grafice pentru o schemă.

Regulile de bază pentru alegerea unui simbol grafic pentru o schemă sunt, în principal, următoarele:
- utilizarea celei mai simple forme a simbolului corespunzător scopului particular;
- utilizarea, pe cât posibil, a formei preferențiale;
- alegerea simbolurilor astfel încât toate elementele unei documentații tehnice să fie coerente între ele.

Orientarea simbolurilor

Simbolurile grafice pot fi orientate, în general, în orice direcție. Dacă nu există indicații contrare, simbolurile pot fi transpuse prin rotație sau în scopul evitării curbării sau încrucișării liniilor care reprezintă circuite.

Se recomandă, suplimentar, aplicarea următoarelor reguli:
- în cazul contactelor rotative, contactul mobil din simbolul grafic reprezentat pe desen trebuie să corespundă întotdeauna contactului mobil din aparatul fizic;
- semnul de mișcare a contactelor din poziția de repaus, în poziția de lucru, va fi de la stânga la dreapta - în reprezentarea verticală - și de sus în jos - în reprezentarea pe orizontală.

Dimensiunile simbolurilor grafice, grosimile liniilor

În majoritatea cazurilor, semnificația unui simbol grafic este definită prin forma sa. Dimensiunea simbolului grafic și grosimea liniei nu afectează, în general, semnificația sa.

În anumite cazuri este de dorit utilizarea de mărimi diferite pentru simbolurile grafice:
- pentru a reliefa anumite particularități;
- pentru a permite includerea de informații complementare.

Pentru distingerea sau scoaterea în evidență a anumitor circuite se pot utiliza, pentru reprezentarea conductelor, diferite grosimi. Pentru astfel de situații se pot utiliza linii mai groase și pentru alte scheme decât acelea ale conductelor.

În Anexa 1 sunt reprezentate simbolurile literare pentru marcarea aparatelor și echipamentelor.

În Anexa 2 sunt reprezentate principalele simboluri grafice utilizate în schemele electrice.

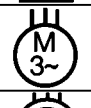
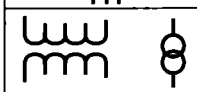
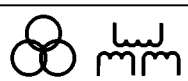
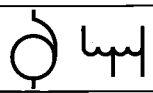
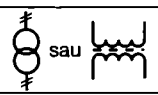
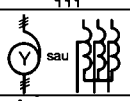
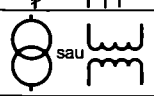
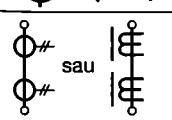
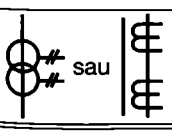
ANEXA 1

Simboluri literale oentru marcarea aparatelor și echipamentelor.

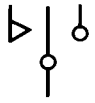
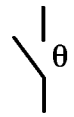
Simbol	Tip echipamente	Semnificație
A	Ansambluri, subansambluri funcționale.	Amplificatoare cu tuburi sau tranziastoare, amplificatoare magnetice, lasere.
B	Traductoare ale unei mărimi neelectrice într-o mărime electrică și invers.	Termocuple, celule fotoelectrice, dinamometre, microfoane, difuzoare, întreruptoare de proximitate.
C	Condensatoare.	Condensatoare.
D	Operatoare binare, dispozitive de temporizare, memorii.	Relee de timp, relee bistabile, memorie magnetică, înregistratoare pe bandă.
E	Dispozitive diverse.	Sursă de iluminat, echipamente de încălzire, alte dispozitive. (ex. ventilatoare etc.).
F	Dispozitive de protecție.	Siguranțe fuzibile, eclator, dispozitiv de supratensiune, descărcător.
G	Generatoare, surse de alimentare.	Generatoare, baterii de acumulatoare, oscilatoare, oscilatoare cu cuarț, surse de alimentare.
H	Dispozitive de semnalizare.	Lămpi, casete de semnalizare, hupe, sonerii, LED-uri
K	Relee, contactoare.	Contactoare, relee intermediare, relee de pâlpâire, relee de curent, relee de tensiune etc.
L	Inductanțe și reactanțe.	Bobine de reactanță, bobine de filtraj, bobine de înaltă frecvență.
M	Motoare.	Motoare de curent continuu, motoare asincrone, motoare sincrone.
N	Regulatoare, amplificatoare de semnal.	Regulatoare de tensiune, de frecvență, de turație, echipamente de calcul, de procesare, echipament de control analogic.
P	Aparate de măsurare și dispozitive de încercare.	Aparate de măsurare indicatoare, înregistratoare, contoare, generatoare de impulsuri, ceasuri electrice.
Q	Aparate de comutație (de putere) pentru înaltă și joasă tensiune.	Întreruptoare, separatoare.
R	Rezistoare.	Rezistoare, potențiometre, shunturi, rezistențe de încălzire.
S	Aparate de comutație pentru circuite electrice secundare.	Butoane de comandă, comutatoare, limitatoare de poziție, comutatoare voltmetrice, selectoare.
T	Transformatoare.	Transformatoare de curent, de tensiune, convertoare CA/CC.
U	Modulatoare, convertoare de mărimi electrice.	Invertoare, redresoare, traductoare convertoare de măsură.
V	Tuburi electornice, semiconductoare.	Tuburi electronice, tuburi cu descărcări în gaze, diode, tiristoare, tranzistoare.
W	Conductoare, antene.	Fire (conductoare), cabluri, bare, antene parabolice.
X	Borne, fișe, prize.	Prize, fișe, cleme de șir
Y	Dispozitive mecanice acționate electric.	Electroventile, electromagneți, cuplaje, servomotoare.
Z	Sarcini corective, bobine hibride, filtre, egalizatoare, limitatoare.	Filtre de cuplaj, transformatoare diferențiale, limitatoare de cursă.

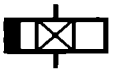
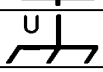
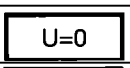
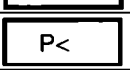
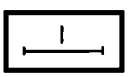
ANEXA 2: Principalele simboluri grafice utilizate în schemele electrice.

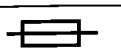
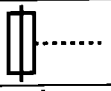
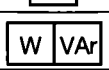
Simboluri grafice generale	
Simbol	**Semnificația simbolului**
	Curent continuu
	Curent alternativ Ex: ~ 50 Hz; ~ 100...600 Hz; 3N ~ 400/230V 50 Hz;
	Curent redresat cu componentă alternativă
+	Polaritate pozitivă
-	Polaritate negativă
N	Neutru
M	Mediană
>	Funcționare atunci când mărimea caracteristică depășește valoarea de reglaj
	Conexiune mecanică
	Conexiune mecanică cu indicarea direcției de mișcare
	Conexiune mecanică cu indicarea direcției de rotație
	Acțiune întârziată
	Revenire automată
	Revenire neautomată
	Interblocare mecanică între două dispozitive
	Dispozitiv de blocaj
Elemente de acționare	
	Acționare manuală
	Acționare manuală protejată împotriva acționărilor neintenționate
	Acționare prin tragere
	Acționare prin rotire
	Acționare prin apăsare
	Acționare de urgență
	Comanda prin cheie
	Comanda prin acumulare de energie mecanică
	Acționare prin efect electromagnetic
M	Comandă cu motor electric
Simboluri pentru conductoare și dispozitive de conectare	
	Conector, cablu, linie, conexiune
3	3 cenexiuni conductoare
110V 2x120mm² Al	Circuit de c.c. 110 V, cu două conductoare din aluminiu de 120 mm^2
3N ~ 50 Hz 400V 3x120mm² + 1x70mm²	Circuit trifazat, 50 Hz, 400 V, 3 conductoare pe fază de 120 mm^2, 1 conductor neutru de 70 mm^2 (3N poate fi 3+N)
	Circuit ecranat
	Conexiune torsadată
	Punct de conexiune
	Bornă
	Șir de cleme
sau	Conexiune în T
	Conexiune dublă în T
	Conexiune dublă
	Priză și fișă
6	Priză și fișă multiplă
	Dispozitiv de deconectare (închis)
	Idem, deschis
Simboluri grafice pentru rezistoare, condensatoare și inductanțe	
	Rezistor - semn general
	Rezistor cu rezistență variabilă
	Varistor
	Rezistor cu contact glisant
	Șunt
	Condensator
	Inductanță, bobină, înfășurare, bobină de șoc
	Inductanță cu miez magnetic

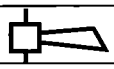
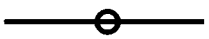
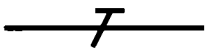
Simboluri grafice pentru producerea și transformarea energiei electrice	
	Mașină (simbol general) *=G - generator M - motor GS - generator sincron MS - motor sincron
	Motor liniar
	Motor pas cu pas
	Motor de c.c. cu excitație serie
	Motor de c.c. cu excitație derivație
	Motor serie monofazat
	Generator sincron cu magnet permanent
	Motor asincron trifazat cu rotor în scurtcircuit
	Motor asincron trifazat cu rotor bobinat
	Transformator cu 2 înfășurări
	Transformator cu 3 înfășurări
	Autotransformator
	Reactor
	Transformator de curent
	Transformator monofazat cu 2 înfășurări și ecran
	Transformator trifazat cu 4 prize, conexiune stea - stea
	Transformator trifazat cu conexiune stea - triunghi
	Autotransformator trifazat cu conexiune stea
	Transformator de tensiune
	Transformator de curent cu 2 înfășurări secundare cu 2 miezuri magnetice
	Transformator de curent cu 2 înfășurări secundare pe un miez magnetic comun

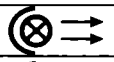
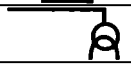
	Convertor c.c./c.c.
	Redresor
	Invertor
	Element de baterie de acumulatoare
Simboluri grafice pentru aparate de comandă și protecție	
	Funcție de contactor
	Funcție de disjunctor
	Funcție de separator
	Funcție de separator de sarcină
	Funcție de declanșare automată inițiată de un releu inclus
	Funcție de limitator de cursă (întreruptor de poziție)
	Funcție de revenire automată
	Funcție de revenire neautomată
	Contact normal deschis
	Contact normal închis
	Contact comutator
	Contact pasager care se închide momentan când dispozitivul este acționat (energizat)
	Contact pasager care se închide momentan când dispozitivul revine
	Contact normal deschis cu temporizare la acționarea releului
	Contact normal deschis cu temporizare la revenirea releului
	Contact normal închis cu temporizare la acționarea releului
	Contact normal închis cu temporizare la revenirea releului
	Contact normal deschis cu temporizare la acționarea și revenireaa releului
	Contact normal deschis cu revenire automată
	Contact normal deschis cu reținere
	Contact normal închis cu revenire automată

	Contact cu două direcții, cu poziție mediană, cu revenire automată pentru direcția stânga și cu reținere pentru direcția opusă
	Buton cu contact normal deschis cu acționare manuală - simbol general
	Buton acționat prin tragere cu contact normal deschis și revenire automată
	Buton acționat prin apăsare cu revenire automată
	Buton acționat prin rotire cu contact normal deschis și fără revenire automată
	Buton normal deschis cu revenire automată
	Buton normal închis cu revenire automată
	Întreruptor de poziție, CND
	Întreruptor de poziție, CNÎ
	Întreruptor care funcționează sub efectul temperaturii, CND. Simbolul θ poate fi înlocuit cu temperatura de funcționare
	Idem, CNÎ
	Întreruptor acționat termic (de exemplu bimetal), CNÎ
	Tub cu descărcări în gaze cu element termic (starter pentru lampă fluorescentă)
	Comutator cu mai multe poziții (pentru un număr mic de poziții), cu indicarea poziției
	Contactor
	Contactor cu declanșare automată inițiată de un releu încorporat
	Ruptor (CNÎ)
	Disjunctor (Întreruptor automat)
	Separator
	Separator de sarcină
	Separator cu acționare manuală cu dispozitiv de blocaj
	Dispozitiv de pornire motor (demaror) - Semn general
	Demaror în trepte

	Dispozitiv de pornire stea - triunghi
	Demaror cu contactor pentru inversarea sensului de rotație
	Demaror cu autotrafo
	Demaror - regulator cu tiristoare
	Bobină de releu sau contactor (simbol general)
	Bobină de releu cu temporizare la revenire
	Bobină de releu cu temporizare la acționare
	Bobină de releu cu temporizare la revenire și acționare
	Bobină de releu cu acționare rapidă
	Releu termic
	Tensiunea defectului la masă
U_{rsd}	Tensiune reziduală
I_d	Curent diferențial
	Curent de defect la pământ
I_N	Curent în conductorul neutru
I_{N-N}	Curentul între neutrele a 2 sisteme polifazate
	Caracteristica de timp dependentă
 U=0	Releu de tensiune nulă
 I ←	Releu de curent invers
 P<	Releu de putere minimă
 I	Releu maximal de curent temporizat
2(I>) 5...10A	Releu maximal de curent cu 2 elemente de măsură, cu domeniul de reglaj 5...10 A
Q> 1MVAr 5...10 s	Releu de putere reactivă maximă - transport de enrgie spre bare; - valoare de reglaj 1MVAr; - temporizare independentă - reglabilă de la 5s la 10s
Z<	Releu de impedanță minimă
	Releu Buchholz

	Siguranță fuzibilă
	Siguranță fuzibilă cu percutor
	Siguranță fuzibilă cu percutor și cu contact de semnalizare (3 borne)
	Siguranță fuzibilă cu contact de semnalizare separat
	Întreruptor - fuzibil
	Separator cu fuzibil
	Separator de sarcină cu fuzibil
	Eclator
	Descărcător
Simboluri grafice pentru aparate de comandă și protecție	
	Aparat indicator
	Aparat înregistrator
	Aparat integrator
	Voltmetru
	Ampermetru de curent reactiv /ampermetru obișnuit
	Indicator de maxim (acționat de un contor)
	Varmetru
	Cosfimetru
	Fazmetru
	Frecvențmetru
	Sincronoscop
	Osciloscop
	Voltmetru diferențial
	Wattmetru înregistrator
	Watt - varmetru înregistrator
	Oscilograf
	Contor de energie activă
	Contor de energie activă cu dublu tarif
	Contor de energie activă cu indicator de maxim

	Lampă de semnalizare
	Lampă de semnalizare pâlpâitoare
	Indicator de poziție electromecanic
	Hupă
	Sonerie
	Sirenă
	Buzzer
Simboluri grafice pentru planuri de instalații electrice	
	Linie subterană
	Linie submarină
	Linie aeriană
	Conductor neutru (N)
	Conductor de protecție (PE)
	Conductor PEN
	Traseu care urcă
	Traseu care coboară
	Traseu care traversează pe verticală
	Doză (cutide de conexiuni)
	Priză de forță (simbol general)
	Priză tripolară
	Priză cu contact de protecție
	Priză cu obturator
	Priză cu întreruptor monopolar
	Priză cu întreruptor de blocare
	Dispozitiv de comandă cu cheie
	Corp de iluminat
	Corp de iluminat de perete
	Corp de iluminat - lampă (simbol general)
	Corp de iluminat cu lampă fluorescentă
	Corp de iluminat cu 3 lămpi fluorescente
	Proiector (simbol general)

	Proiector cu fascicul puțin divergent
	Reflector
	Corp de iluminat de siguranță alimentat pe circuitul special
	Bloc autonom de iluminat de siguranță
	Priză cu transformator de izolare
	Priză pentru telecomunicații (simbol general)
TP	Telefon
FX	Telefax
M	Microfon
TV	Televiziune
TX	Telex
	Difuzor
	Întreruptor (simbol general) exemplu: întreruptor monopolar
	Întreruptor cu lampă de semnalizare
	Întreruptor bipolar
	Întreruptor dublu
	Întreruptor monopolar cu 2 căi (de capăt)
	Întreruptor intermediar (cruce)
	Dimmer
	Întreruptor cu șnur
	Buton comandă
	Buton comandă cu lampă inclusă
	Buton comandă protejat contra acționării involuntare

III. Măsurări

Capitolul 1

Principii, metode și mijloace de măsurare

Metrologia *(metrologia generală)* este definită ca fiind știința și tehnica măsurărilor și este constituită din teoria și tehnica măsurărilor. Cuvântul *metrologie* provine din limba greacă metron - măsură și logos - vorbire.

Teoria măsurărilor *(metrologia teoretică)* are ca obiect aspectele teoretice generale privind măsurările, respectiv mărimi, unități și sisteme de unități de măsură, mijloace și metode de măsurare, erori de măsurare și metode de prelucrare a datelor obținute din măsurări.

Tehnica măsurărilor *(metrologia unei anumite mărimi fizice)* are ca obiect aspectele practice ale măsurării unei anumite mărimi sau ale unei anumite grupe de mărimi. De exemplu, tehnica măsurării lungimii, tehnica măsurării vitezei etc.

În afara noțiunilor de metrologie generală, metrologie teoretică și metrologie a unei anumite mărimi fizice, există și noțiunea de *metrologie aplicată* (alegerea corectă a mijloacelor de măsurare, dezvoltarea de noi mijloace de măsurare, tehnica măsurării, norme și instrucțiuni de verificare) și *metrologie legală* (care stabilește prin acte normative condițiile tehnice metrologice și juridice privind metodele și mijloacele de măsurare în vederea asigurării garanției publice din punct de vedere al siguranței de execuție, exactității și reproductibilității măsurărilor).

În acest capitol se prezintă: principii, metode și mijloace de măsurare; măsurarea mărimilor electrice; măsurarea mărimilor neelectrice; aspecte metrologice privind mijloacele și metodele de măsurare.

Etalonarea sau verificarea unui mijloc de măsurare se efectuează pe baze de standarde, SR, norme tehnice metrologice, NTM, norme tehnice de ramură, NTR, caiete de sarcină, CS, și specificații tehnice, ST, elaborate de producătorii mijloacelor de măsurare și avizate de Institutul Național de Metrologie (INM).

Organismul internațional care ia hotărâri în domeniul metrologiei este Conferința Generală de Măsuri și Greutăți - CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures). CGPM are un Comitet Internațional de Măsuri și Greutăți CIPM (Comité Intenational des Poids et Mesures) care este dotat cu un laborator de cercetări în domeniul metrologiei cu sediul la Paris - Sévres numit Biroul International de Măsuri și Greutăți - BIPM (Bureau International de Poids et Mesures) care are mai multe comitete consultative și de care aparține organizația internațională de standardizare ISO (International Standard Organisation).

La noi în țară, activitatea de metrologie este coordonată de Biroul Român de Metrologie Legală, BRML, care are la bază Legea metrologiei. Practic, își îndeplinește misiunea prin intermediul Institutului Național de Metrologie București, INMB.

Principiul de măsurare stă la baza efectuării unei măsurări.

Metodele de măsurare reprezintă procedee de efectuare a operațiilor de măsurare și se clasifică după mai multe criterii:

- modul de exprimare al măsurandului; metodele de măsurare sunt: analogice, numerice și mixte;
- domeniul în care se efectuează determinările: timpul sau domeniul de frecvență;
- modul de preluare a informațiilor de măsurare: obiectiv (se efectuează cu aparate) sau subiectiv (intervine operatorul uman).
- modul de stabilire a contactului între mijlocul de măsurare și măsurand: cu sau fără contact;
- principiul utilizat și metodele de măsurare:
  - prin citire - se pot efectua direct (mărimea se măsoară cu un aparat destinat acestei mărimi) sau indirect (mărimea se măsoară cu două sau mai multe aparate, mărimea ce interesează obținându-se prin introducerea datelor măsurate într-o formulă) sau
  - prin comparație, acestea sunt simultane și succesive;

Metodele simultane au la bază comparația măsurandului cu un etalon de valoare egală sau apropiată sau comparația măsurandului cu un etalon de valoare diferită.

Când măsurandul este comparat cu un etalon de valoare egală sau apropiată se poate utiliza metoda directă sau indirectă. Metoda directă poate fi diferențială (coincidență) sau de zero (de comparație și punte). Metoda indirectă se realizează prin comparație simplă, substituție și permutare.

Când măsurandul este comparat cu un etalon de valoare diferită se poate utiliza metoda prin adiționare sau raport.

Metodele succesive - se măsoară etalonul cu un aparat de măsurat corespunzător și apoi mărimea care caracterizează obiectul (fenomenul) după care se efectuează comparația.

- modul de prelucrare a informației de măsurare: prin mediere sau prin eșantionare;
- timpul de răspuns: în timp real sau cu întârziere;
- legătura dintre mărimea de ieșire și cea de intrare.; legătura este dată prin funcții de corelație și autocorelație.

Mijloacele de măsurare sunt mijloace tehnice utilizate pentru obținerea, prelucrarea, transformarea și stocarea de informații de măsurare.

Mijloacele de măsurare se clasifică după structură și după modul de subordonare metrologică.

După structură, mijloacele reprezentative sunt:

- măsuri ce materializează pe durata utilizării una sau mai multe valori ale unei mărimi fizice. De exemplu: rigla gradată, greutatea etc.
- instrumente de măsurat ce sunt constituite din cele mai simple asocieri de dispozitive și elemente, care pot furniza informații de măsurare; de exemplu: șublerul, balanța, termometrul, manometrul etc.
- aparate de măsurat ce sunt construite, în general, pe baza asocierii unui traductor cu dispozitive intermediare și cu un instrument de măsurat. De exemplu: voltmetrul, termocuplul - dispozitive intermediare - milivoltmetru. Aparatele de măsurat se clasifică după:
  - natura mărimii măsurate (măsurandul), în aparate pentru:
    * mărimi electrice și magnetice;
    * mărimi neelectrice (deplasări, presiuni etc.);
  - modul de exprimare al măsurandului:
    * analogice (variație continuă);
    * numerice (variație discretă);
  - modul de furnizare a informației de măsurare:
    * indicatoare,
    * înregistratoare, integratoare și cu memorie.
- instalații de măsurare - ansambluri de măsuri, instrumente de măsurat și aparate;
- elemente de automatizare cu funcții de măsurare - traductor, adaptor, dispozitive intermediare etc;
- mostre de material și substanță.

III. Măsurări

Capitolul 2
Măsurarea mărimilor electrice

2.1. Măsurarea tensiunii

Se efectuează cu voltmetre care sunt: magnetoelectrice, electromagnetice, electrodinamice sau ferodinamice şi electrostatice.

Voltmetrele magnetoelectrice sunt utilizate în curent continuu deoarece unghiul de deviaţie a acului indicator α depinde de tensiune.

$$\alpha = f(U) \qquad (2.1.1)$$

Voltmetrele electromagnetice pot funcţiona atât în curent continuu (c.c.) cât şi în curent alternativ (c.a.) deoarece:

$$\alpha = f(U^2) \qquad (2.1.2)$$

În mod obişnuit sunt utilizate în curent alternativ.

Voltmetrele electrodinamice sau ferodinamice sunt utilizate la măsurarea tensiunilor alternative, dar pot fi utilizate şi la măsurarea tensiunilor continui.

Voltmetrele electrostatice sunt utilizate la măsurarea tensiunilor continue. Ele au un consum foarte mic (de ordinul microamperilor) şi se pot construi pentru tensiuni foarte mari (de ordinul zecilor de kilovolţi).

Voltmetrul se montează în paralel cu sarcina pe care se determină căderea de tensiune. La măsurarea tensiunilor se pune problema extinderii domeniului de măsurare. Pentru aceasta în c.c. sunt utilizate rezistenţele adiţionale sau divizoarele de tensiune, iar în c.a., transformatele de măsură a tensiunii.

Extinderea domeniului de măsurare cu rezistenţă adiţională

Rezistenţa adiţională R_{ad} se montează în serie cu voltmetrul şi are rolul de a limita valoarea curentului ce trece prin voltmetru, fiind astfel posibilă măsurarea unor tensiuni mari (fig. III 2.1).

În acest caz se poate scrie:

$$I = \frac{nU}{R_{ad} + R_v} = \frac{U}{R_v} \qquad (2.1.3)$$

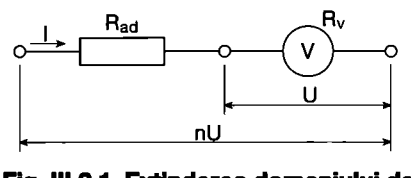


Fig. III.2.1. Extinderea domeniului de măsurare cu rezistenţă adiţională.

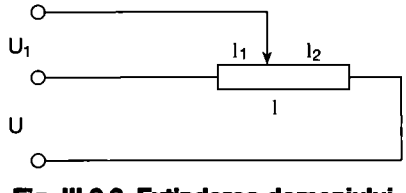


Fig. III.2.2. Extinderea domeniului de măsurare cu divizor de tensiune.

de unde:

$$R_{ad} = (n-1)\, R_v. \qquad (2.1.4)$$

Extinderea domeniului de măsurare cu divizor de tensiune

În fig. III.2.2 este dată schema electrică a unui divizor de tensiune.

Referitor la fig. III.2.2 se poate scrie:

$$\frac{U_1}{U} = \frac{I_1 R_1}{IR} \qquad (2.1.5)$$

şi

$$U = \frac{RI}{R_1 I_1} U_1 \qquad (2.1.6)$$

Extinderea domeniului de măsurare cu transformator de măsură a tensiunii

În acest caz, se utilizează schema din fig. III.2.3.

Regimul de funcţionare a transformatoarelor de măsură a tensiunii T_U este cel de mers în gol, deoarece pe secundarul transformatorului este conectată rezistenţa internă a voltmetrului care are o valoare foarte mare.

În această situaţie, raportul de transformare K este dat de relaţia:

$$K = \frac{U_1}{U_{20}} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (2.1.7)$$

în care:

U_1 - este tensiunea de primar;

U_{20} - tensiunea de secundar la mers în gol;

N_1, N_2 - numărul de spire ale transformatoarelor în primar, respectiv, secundar.

Deoarece la deteriorarea înfăşurării primare, înfăşurarea secundară şi aparatele conectate la aceasta se vor găsi la un potenţial ridicat faţă de pământ, putând provoca accidente grave, înfăşurarea secundară este legată la pământ. În cazul când voltmetrul nu este conectat la bornele înfăşurării secundare, aceasta se lasă deschisă sau se montează o rezistenţă mare; în caz contrar, se produce încălzirea înfăşurărilor şi deteriorarea transformatorului. Schema de montare a unui transformator de măsură a tensiunii este dată în fig. III.2.4.

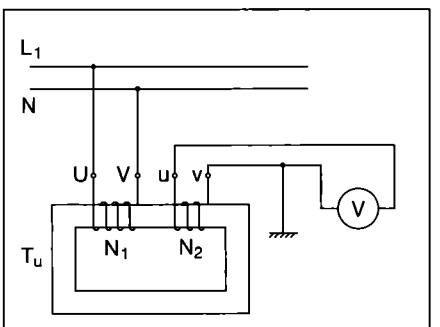


Fig. III.2.3. Extinderea domeniului de măsurare cu transformator de măsură a tensiunii.

Observaţii:

- măsurarea tensiunii este cu atât mai precisă, cu cât rezistenţa internă a voltmetrului este mai mare (intensitatea curentului ce trece prin voltmetru este mai mică);
- înfăşurarea primară este calculată pentru valoarea tensiunii ce trebuie măsurată, iar înfăşurarea secundară este calculată pentru o tensiune standardizată de 100 V.

Utilizarea cheii voltmetrice pentru măsurarea tensiunilor

La reţelele de c.a. trifazat se măsoară tensiuni între L_1 - L_2, L_1 - L_3, L_2 - L_3, L_1 - N, L_2 - N, L_3 - N, 0. Pentru a nu efectua multe conexiuni şi a avea un singur voltmetru, se utilizează un comutator (cheie) voltmetric cu şapte poziţii CV - 76 având schema ca în fig. III.2.5. Cheia are funcţia de selectare.

2.2. Măsurarea intensităţii curentului electric

Se efectuează cu ampermetre care pot fi: magnetoelectrice, electromagnetice, electrodinamice, ferodinamice sau termice.

Ampermetrele magnetoelectrice sunt utilizate în c.c. (conform relaţiei 2.1.1).

Ampermetrele electromagnetice pot funcţiona atât în c.c. cât şi în c.a. (conform relaţiei 2.1.2).

Ampermetrele electrodinamice sau ferodinamice sunt utilizate la măsurarea intensităţii curenţilor alternativi şi continui.

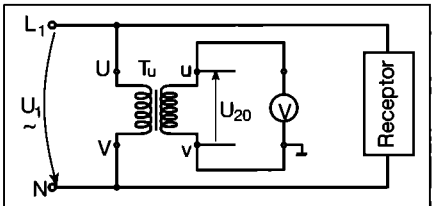


Fig. III.2.4. Schema de montare a unui transformator de tensiune.

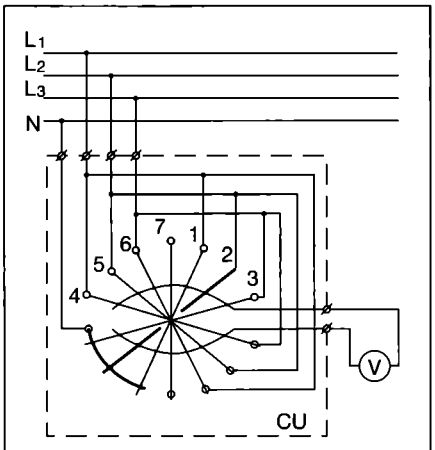


Fig. III.2.5. Cheie voltmetrică cu şapte poziţii CV - 76.

Ampermetrele termice pot fi utilizate atât la măsurările intensității curentului continuu cât și ale curentului alternativ (frecvențe înalte). Curentul (continuu sau alternativ) determină o variație a temperaturii sesizată de un termocuplu. La bornele termocuplului, se obține o tensiune termoelectromotoare dependentă de temperatura celor două puncte, cald și rece, ce este măsurată de un voltmetru magnetoelectric. Ampermetrul se montează în serie cu sarcina.

Și la măsurarea intensității curentului electric se pune problema extinderii domeniului de măsurare. În c.c. se realizează cu șunturi, iar în c.a. cu transformatoare de intensitate (reductoare de curent).

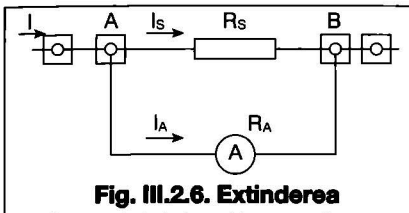


Fig. III.2.6. Extinderea domeniului de măsurare în c.c. cu utilizarea șuntului.

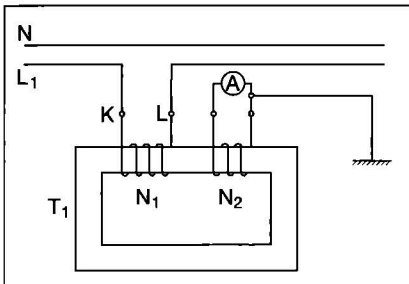


Fig. III.2.7. Extinderea domeniului de măsurare cu transformatoare de măsură a intensității.

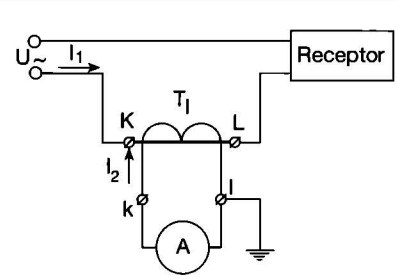


Fig. III.2.8. Schema de montare a unui transformator de intensitate.



Fig. III.2.9. Cleşte ampermetric.

Extinderea domeniului de măsurare cu șunt

Șuntul este construit dintr-o rezistență $R_Ş$ montată în paralel cu ampermetrul de rezistență internă R_A (fig. III.2.6).

Prin șunt trece curentul $I_Ş$, iar prin ampermetru curentul I_A. Tensiunea la bornele A, B este aceeași și pentru $R_Ş$ și pentru R_A. În aceste condiții, se poate scrie:

$R_Ş I_Ş = R_A I_A$;

$$\frac{I_Ş}{I_A} = \frac{R_A}{R_Ş} \qquad (2.2.1)$$

Pentru a mări de n ori domeniul de măsurare, prin șunt trece curentul $\frac{n-1}{n} \cdot I$, iar prin ampermetru, $\frac{1}{n} \cdot I$

Rezultă:

$$\frac{I_Ş}{I_A} = \frac{R_A}{R_Ş} = \frac{\frac{n-1}{n} \cdot I}{\frac{1}{n} \cdot I} = n-1 \qquad (2.2.2)$$

și

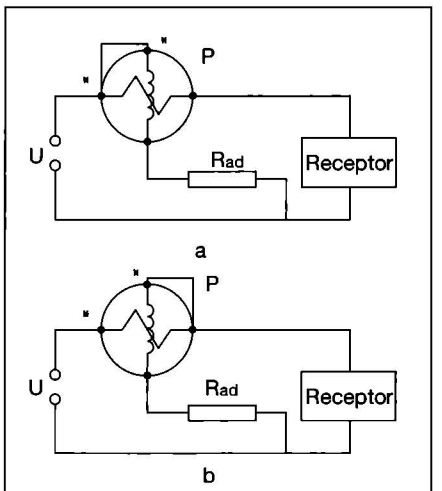


Fig. III.2.10. Măsurarea puterii cu wattmetrul electrodinamic:
a - montare amonte; b - montare aval.

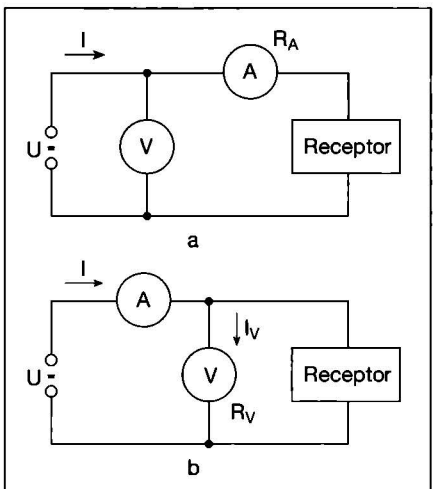


Fig. III.2.11. Măsurarea puterii cu voltmetru și ampermetru:
a - montare amonte; b - montare aval.

$$R_s = \frac{1}{n-1} R_A \qquad (2.2.3)$$

Extinderea domeniului de măsurare cu transformator de intensitate

În acest caz se utilizează schema din fig. III.2.7.

Raportul de transformare K_1 este:

$$K_1 = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (2.2.4)$$

Regimul normal de funcționare a acestor transformatoare este cel de scurtcircuit, deoarece pe secundarul transformatoarelor sunt conectate rezistențele interne ale ampermetrelor, ce au valori foarte mici. Când ampermetrul nu este conectat la bornele înfășurării secundare, acestea se scurtcircuitează. În această situație fluxurile produse de cele două înfășurări φ_1 și φ_2 sunt aproximativ egale și în opoziție de fază, astfel încât prin miezul transformatorului circulă un flux rezultant φ_R, foarte mic, pentru care este dimensionat miezul transformatorului. Dacă se lasă deschisă înfășurarea secundară, fluxul produs de aceasta dispare, iar prin miezul transformatorului trece întregul flux din înfășurarea primară, ceea ce provoacă încălzirea excesivă a miezului transformatorului și distrugerea înfășurărilor; în același timp, apare o tensiune periculoasă la bornele înfășurării secundare.

Schema de montare a unui transformator de măsură a intensității curentului electric (transformator sau reductor de intensitate - curent) este dată în fig. III.2.8.

Observație:

- înfășurarea primară este calculată pentru valoarea intensității curentului ce trebuie măsurat, iar înfășurarea secundară este calculată pentru intensitatea standardizată de 5 sau 1 A.

Utilizarea cleștelui ampermetric pentru măsurarea intensității curentului electric

Cleștele este un tip special de reductor de intensitate (fig.III.2.9).

Trebuie reținut că intensitatea măsurată este cea corespunzătoare conductorului îmbrățișat de miezul magnetic al cleștelui. Există clești polivalenți care pot măsura tensiuni alternative. De exemplu, 3 calibre: 150, 300 și 600 V și curenți alternativi, 4 calibre: 20, 60, 200, 600 A etc.

2.3. Măsurarea puterii

2.3.1. Măsurarea puterii în curent continuu

Măsurarea directă utilizează wattmetrul electrodinamic montat cu bobina de curent în serie cu receptorul, iar bobina de tensiune împreună cu rezisten-

ța adițională R_a în derivație față de receptor, respectiv, față de tensiunea de alimentare. Pentru ca wattmetrul să dea indicații corecte, în sensul normal (sensul scării), curentul trebuie să aibă un anumit sens în înfășurările aparatului și deci la montarea wattmetrului trebuie respectată polaritatea bornelor marcate cu steluță. Montarea wattmetrului poate fi amonte (fig. III.2.10 a) sau aval (fig. III.2.10 b).

Măsurarea indirectă se realizează cu ajutorul voltmetrului și ampermetrului, utilizând montarea amonte sau aval (fig. III.2.11).

În ambele scheme sunt necesare corecții. Ținând seama că puterea P este dată de relația:

$$P = UI \qquad (2.3.1)$$

pentru montarea amonte, se poate scrie:

$$P_{am} = (U - R_A I)I = UI - R_A I^2 \qquad (2.3.2)$$

Rezultă că este necesar a se aplica puterii o corecție egală cu $R_A I^2$ (puterea consumată de ampermetru).

Pentru montarea aval se poate scrie:

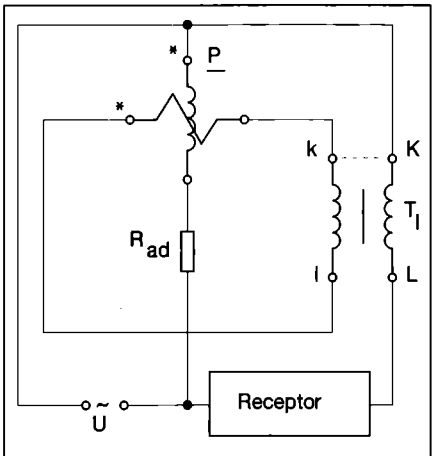


Fig. III.2.12. Montarea în cazul I ≤ 10 A.

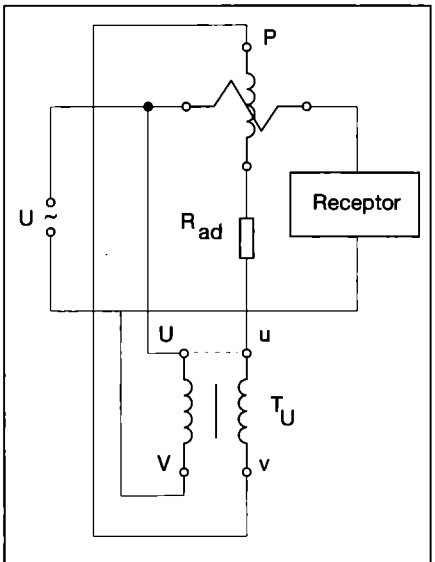


Fig. III.2.13. Montare în cazul U > 500 V.

$$P_{av} = U(I - I_v) = U\left(I - \frac{U}{R_v}\right) = UI - \frac{U^2}{R_v} \qquad (2.3.3)$$

În acest caz este necesar a se aplica puterii o corecție egală cu U^2/R_v (puterea consumată de voltmetru).

2.3.2. Măsurarea puterii în curent alternativ

În curent alternativ, în afara puterii active P, din cauza inductanțelor ce produc decalajul φ între tensiune și curent, mai este necesară măsurarea puterii reactive, Q, consumată de inductivitățile receptorului și a puterii aparente, S.

Puterea aparentă se determină indirect cu voltmetru și ampermetru.

MĂSURAREA PUTERII ACTIVE

2.3.2.1 Măsurarea puterii active în curent alternativ monofazat

Măsurarea puterii cu wattmetrul electrodinamic

Măsurarea puterii active în c. a. monofazat se poate efectua direct sau indirect.

Măsurarea directă se utilizează până la $I \leq 10$ A și $U \leq 500$ V, cu wattmetrul electrodinamic, în același mod ca și la c.c.

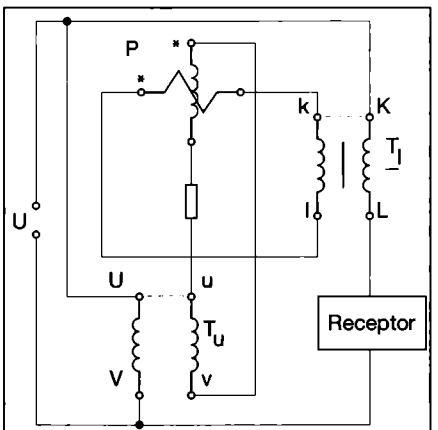


Fig. III.2.14. Montarea în cazul I > 10 A și U > 500 V.

Măsurarea indirectă are la bază utilizarea wattmetrului electrodinamic asociat unor transformatoare de măsură a tensiunii, respectiv, intensității curentului electric, măsurarea cu utilizarea elementelor statice și prin dubla modulare a impulsurilor.

Pentru $I < 10$ A și $U < 500$ U, (fig. III.2.12) wattmetrul se conectează direct în circuit. Dacă una dintre aceste mărimi depășește valoarea indirectă, se recurge la utilizarea transformatoarelor de măsură (fig. III.2.13 și III.2.14). În aceste cazuri, puterea indicată de wattmetru trebuie multiplicată cu raportul (rapoartele) de transformare ale transformatoarelor de măsură utilizat.

Măsurarea puterii cu utilizarea elementelor statice

Metoda se bazează pe relația:

$$(x + y)^2 - (x - y)^2 = 4xy \qquad (2.3.4)$$

în care:

x - este o mărime proporțională cu intensitatea curentului electric,

y - o mărime proporțională cu intensitatea curentului electric.

În fig. III.2.15 este dată schema de principiu a unui astfel de aparat.

$$x = K_1 U;\ y = K_2 I \qquad (2.3.5)$$

$$(x + y)^2 - (x - y)^2 = \varphi K_1 K_2 UI = KUI = KP \qquad (2.3.6)$$

Elementele pătratice EP sunt realizate cu semiconductoare cu elemente feromagnetice pe baza unor fenomene fizice cu dependențe pătratice (legea lui Joule - Lenz) etc.

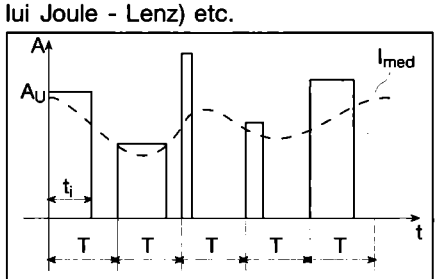


Fig. III.2.16. Principiul de măsurare a puterii prin dubla modulare a impulsurilor.

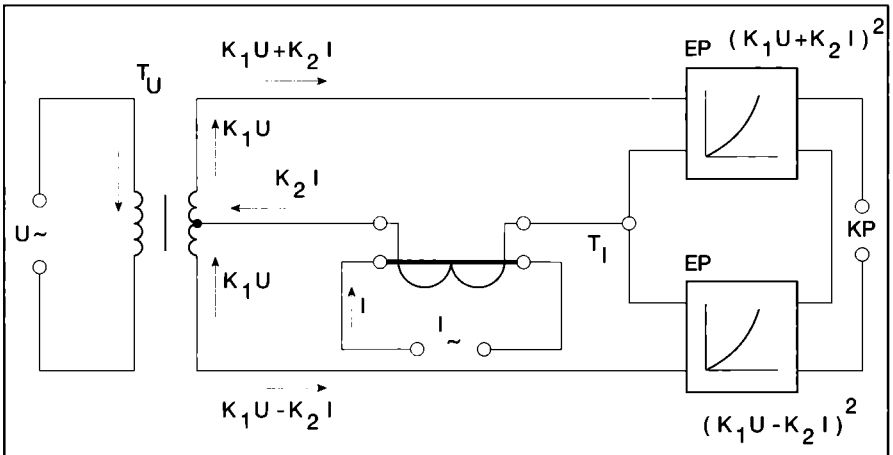


Fig. III.2.15. Măsurarea puterii active cu utilizarea elementelor statice.

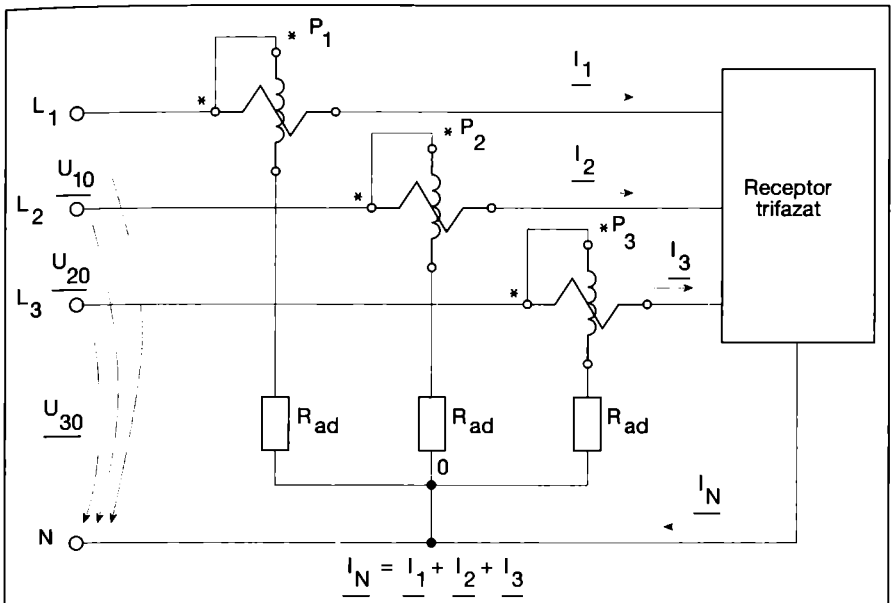


Fig. III.2.17. Metoda celor trei wattmetre.

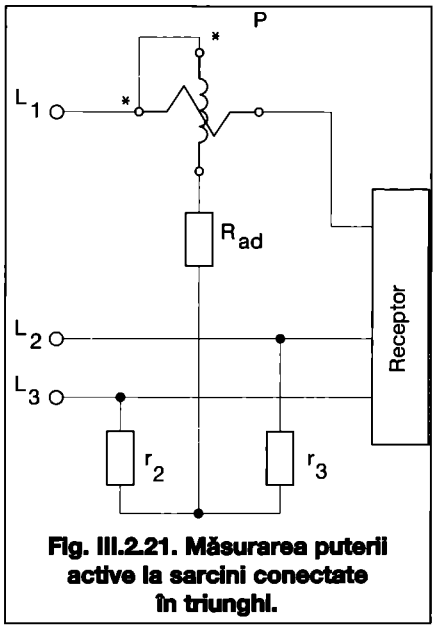


Fig. III.2.21. Măsurarea puterii active la sarcini conectate în triunghi.

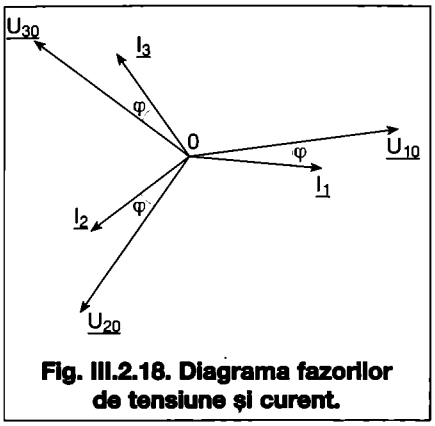


Fig. III.2.18. Diagrama fazorilor de tensiune şi curent.

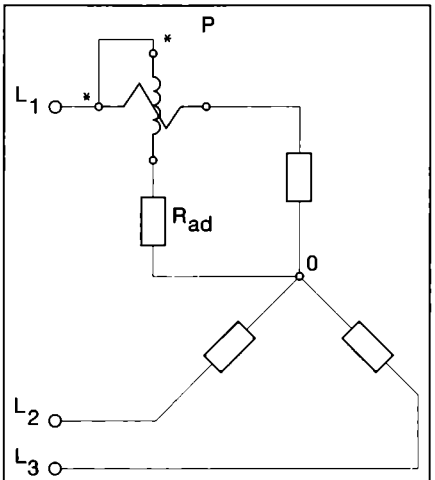


Fig. III.2.20. Măsurarea puterii active în sarcini echilibrate.

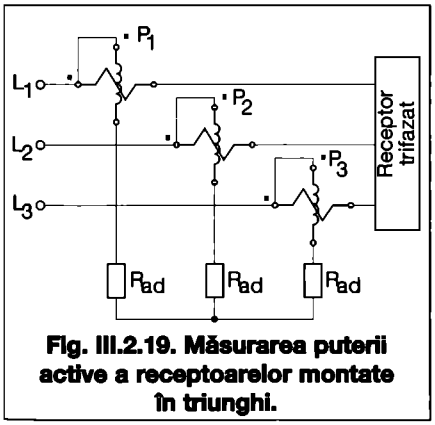


Fig. III.2.19. Măsurarea puterii active a receptoarelor montate în triunghi.

Măsurarea puterii prin dubla modulare a impulsurilor

Metoda constă în dubla modulare (în amplitudine şi durată) a unei serii de impulsuri de curent. Realizând o serie de impulsuri de curent ca în fig. III.2.16, a căror amplitudine A_U este proporţională cu tensiunea şi a căror durată t_i este proporţională cu intensitatea curentului electric, valoarea medie a curentului filtrat I_{med} dat de impulsurile respective este proporţională cu suprafaţa impulsurilor, respectiv, cu puterea. Acest lucru este posibil când frecvenţa impulsurilor, respectiv, perioada T este constantă.

2.3.2.2 Măsurarea puterii active în curent alternativ trifazat

Metoda celor trei wattmetre

Metoda este utilizată la sistemele cu fir neutru (patru conductoare). Puterea aparentă $\underline{S}$ este dată de relaţia:

$$\underline{S} = \underline{U}_{10}\underline{I}_1^* + \underline{U}_{20}\underline{I}_2^* + \underline{U}_{30}\underline{I}_3^* = P + jQ. \quad (2.3.7)$$

$$P = U_{10}I_1\cos(\underline{U}_{10}\underline{I}_1) + U_{20}I_2\cos(\underline{U}_{20}\underline{I}_2) + U_{30}I_3\cos(\underline{U}_{30}\underline{I}_3) = U_{10}I_1\cos\varphi + U_{20}I_2\cos\varphi + U_{30}I_3\cos\varphi = P_1 + P_2 + P_3 \quad (2.3.8)$$

Relaţia arată că, în acest caz, puterea se poate măsura cu trei wattmetre (fig. III.2.17).

În fig. III.2.18 este arătată diagrama fazorilor de tensiune şi curent.

Observaţii:

- dacă potenţialul V_0 al punctului comun 0 al bobinelor de tensiune variază, indicaţiile P_1, P_2 şi P_3 ale wattmetrelor variază şi ele, dar suma lor rămâne constantă şi egală cu puterea trifazată, ca în relaţia 2.3.8. Rezultă că punctul comun 0 al bobinelor de tensiune, poate avea orice potenţial şi deci se poate lăsa şi liber (fig. III.2.19). Această schemă se utilizează când neutrul receptorului nu este accesibil sau când receptorul este montat în triunghi.

La sarcini echilibrate $P_1 = P_2 = P_3 = P_f$, relaţia 2.3.8 devine:

$$P = 3\,P_f \quad (2.3.9)$$

În acest caz este deci suficient să se măsoare puterea cu un singur wattmetru (fig.III.2.20).

Când punctul neutru al sarcinii nu este accesibil sau dacă sarcina este conectată în triunghi se poate realiza un punct neutru artificial cu ajutorul a două rezistenţe adiţionale r_2 şi r_3 egale cu rezistenţa bobinei de tensiune a wattmetrului plus rezistenţa sa adiţională (fig. III.2.21).

Metoda celor două wattmetre

Deoarece punctul comun 0 al bobinelor de tensiune din „metoda celor trei wattmetre" este arbitrar, rezultă că se poate alege ca potenţial de referinţă chiar potenţialul unei faze, prin legarea punctului 0 la una dintre faze, care reprezintă faza de referinţă. În acest caz wattmetrul montat pe faza de referinţă nu mai dă nici o indicaţie şi poate fi scos din circuit (fig. III.2.22).

În acest caz, puterea în complex este dată de relaţia:

$$\underline{S} = \underline{U}_1\underline{I}_1^* + \underline{U}_2\underline{I}_2^* + \underline{U}_3\underline{I}_3^* + (\underline{U}_1 - \underline{U}_2)\underline{I}_1^* + (\underline{U}_3 - \underline{U}_2)\underline{I}_2^* = \underline{U}_{12}\underline{I}_1^* + \underline{U}_{32}\underline{I}_3^* = \underline{U}_{12}\underline{I}_1^* - \underline{U}_{23}\underline{I}_3^* = P + jQ \quad (2.3.10)$$

Puterea activă trifazată este dată de partea reală a relaţiei:

$$P = P_1 + P_3 = U_{12}I_1\cos(U_{12}, I_1) + U_{32}I_3\cos(U_{32}, I_3). \quad (2.3.11)$$

Diagrama fazorilor tensiune şi curent corespunzătoare acestei metode este dată în fig. III.2.23.

Din figură se observă că:

$U_{12} = U_{23} = U_{31} = U_1$ (2.3.12)

$I_1 = I_2 = I_3 = I_1$ (2.3.13)

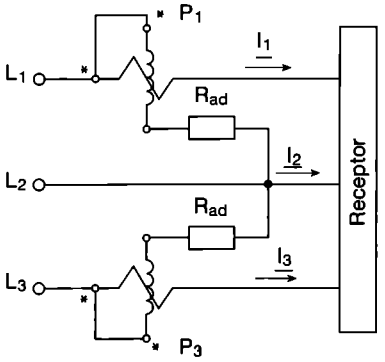


Fig. III.2.22. Metoda celor două wattmetre.

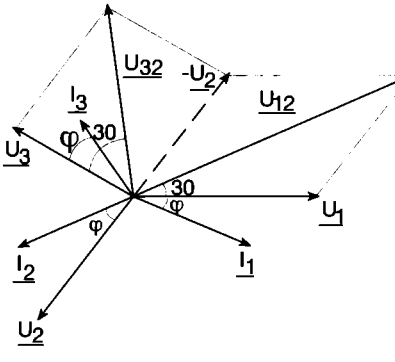


Fig. III.2.23. Diagragma fazorilor tensiune şi curent.

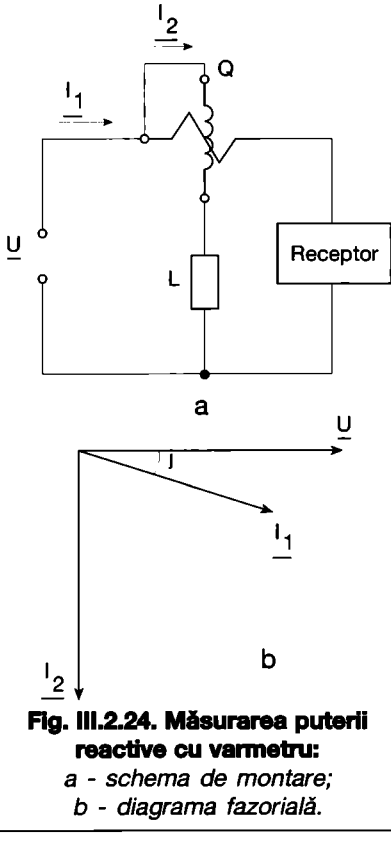


Fig. III.2.24. Măsurarea puterii reactive cu varmetru:
a - schema de montare;
b - diagrama fazorială.

iar $P_1 = U_{12} I_1 \cos(U_{12}, I_1) =$

$= U_1 I_1 \cos(30° + \varphi)$ (2.3.14)

$P_3 = U_{32} I_3 \cos(U_{32}, I_3) =$

$= U_1 I_1 \cos(30° - \varphi)$ (2.3.15)

Prin urmare

$P = P_1 + P_3 = U_1 I_1 [\cos(30° + \varphi) +$

$+ \cos(30° - \varphi)] = \sqrt{3}\, U_1 I_1 \cos\varphi =$

$= \sqrt{3}\, UI \cos\varphi$ (2.3.16)

adică se obţine formula cunoscută a puterii active trifazate.

Observaţie:

- dacă se face diferenţa

$P_3 - P_1 = U_1 I_1 \cos(30° - \varphi) -$

$- U_1 I_1 \cos(30° + \varphi) = UI \sin\varphi$ (2.3.17)

$$\frac{P_3 - P_1}{P_3 + P_1} = \frac{UI \sin\varphi}{\sqrt{3} UI \cos\varphi} = \frac{1}{\sqrt{3}} tg\varphi \quad (2.3.18)$$

De aici

$$tg\varphi = \sqrt{3} \frac{P_3 - P_1}{P_3 + P_1} \quad (2.3.19)$$

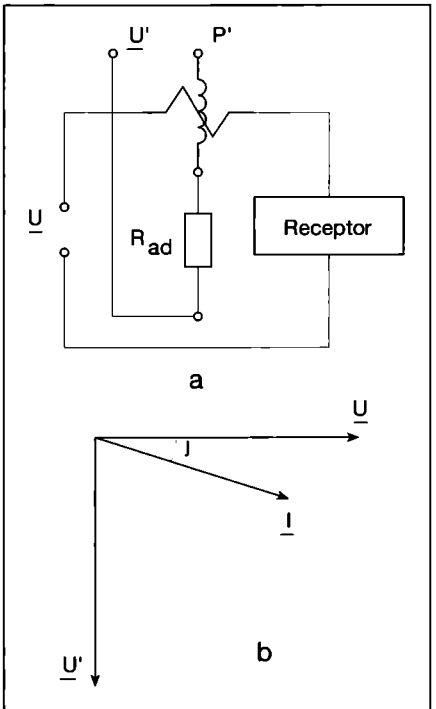


Fig. III.2.25. Măsurarea puterii reactive cu wattmetru:
a - schema de montare;
b - diagrama fazorială.

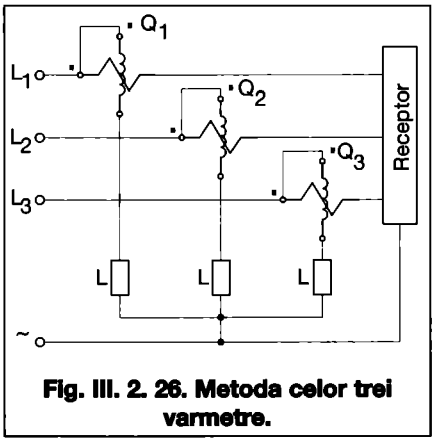


Fig. III. 2. 26. Metoda celor trei varmetre.

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\varphi}} = \frac{1}{\sqrt{1+3\left(\frac{P_3 - P_1}{P_3 + P_1}\right)^2}} \quad (2.3.20)$$

Rezultă că utilizând metoda celor două wattmetre se poate determina şi factorul de putere cos φ.

2.3.3. Măsurarea puterii reactive

2.3.3.1 Măsurarea puterii reactive în curent alternativ monofazat

Se poate efectua direct sau indirect.

Măsurarea directă utilizează varmetre electrodinamice asemănătoare cu wattmetrele electrodinamice (fig. III.2.24). Varmetrele au montate o inductivitate L mare în serie cu bobina de tensiune (la wattmetre este montată o rezistenţă adiţională R_{ad}).

Datorită inductivităţii L, curentul I_2 din bobina de tensiune este defazat cu $\pi/2$ în urma tensiunii de alimentare şi are valoarea efectivă:

$$I_2 = \frac{U}{\omega L}.$$

Deviaţia α a organului mobil al varmetrului electrodinamic este:

$$\alpha = KI_1 I_2 \cos(I_1, I_2) =$$

$$= KI_1 \frac{U}{\omega L} \cos(90° - \varphi) =$$

$$= \frac{K}{\omega L} UI_1 \sin\varphi = \frac{K}{\omega L} Q \quad (2.3.21)$$

deci deviaţia α este proporţională cu puterea reactivă Q.

Observaţie:

- măsurarea directă a puterii reactive monofazate este posibilă şi cu wattmetrul obişnuit dacă se dispune de o sursă auxiliară U' pentru alimentarea bobinei de tensiune care să fie defazată faţă de tensiunea U a receptorului cu $\pi/2$ (fig. III.2.25).

Notând cu P' puterea indicată de wattmetru, se poate scrie:

$P' = U'I\cos(U', I) = U'I \cos(90° - \varphi) =$

$= U'I \sin\varphi$ (2.3.22)

$$P' \frac{U}{U'} = U'I \sin\varphi \frac{U}{U'};$$

$$\frac{P'U}{U'} = UI \sin\varphi = Q \quad (2.3.23)$$

- măsurarea indirectă constă în măsurarea puterii active P cu wattmetrul şi al puterii aparente S cu ampermetrul şi voltmetrul. Puterea reactivă Q rezultă din relaţia:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.3.24)$$

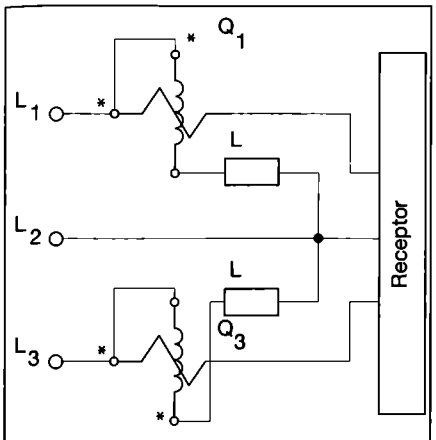


Fig. III. 2. 27. Metoda celor două varmetre.

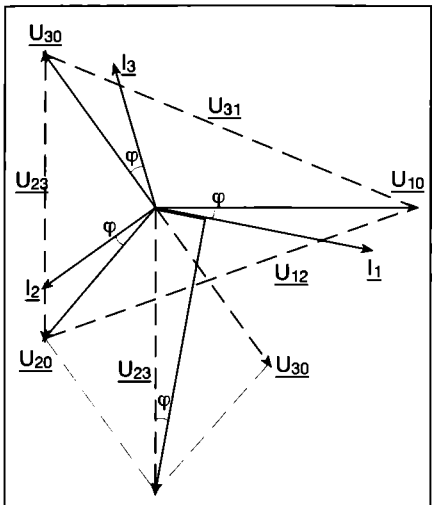


Fig. III.2.28. Diagrama fazorilor reprezentativi ai tensiunilor şi curenţilor.

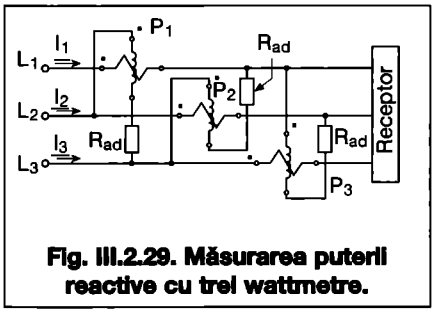


Fig. III.2.29. Măsurarea puterii reactive cu trei wattmetre.

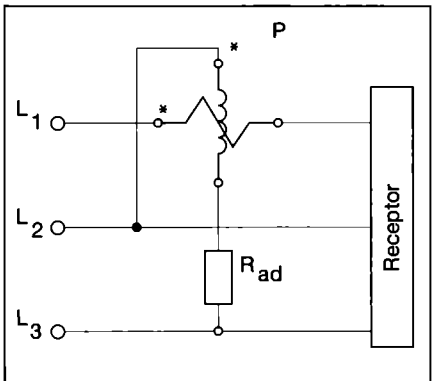


Fig. III.2.30. Măsurarea puterii reactive trifazată la sarcini echilibrate cu un wattmetru.

2.3.3.2 Măsurarea puterii reactive în curent alternativ trifazat

Metoda celor trei varmetre

Pentru sistemele cu fir neutru ţinând seama de relaţia 2.3.7 şi de faptul că partea imaginară reprezintă puterea reactivă Q, se poate scrie:

$$Q = U_{10}I_1\sin(U_{10},I_1)+U_{20}I_2\sin(U_{20},I_2)+ + U_{30}I_3\sin(U_{30},I_3) \quad (2.3.25)$$

Conform fig. III.2.20, se scrie:

$$Q = U_{10}I_1\sin\varphi + U_{20}I_2\sin\varphi + + U_{30}I_3\sin\varphi = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.3.26)$$

Rezultă că puterea reactivă se poate măsura cu trei varmetre, respectiv, „metoda celor trei varmetre" (fig. III.2.26), asemănătoare cu metoda celor trei wattmetre de la măsurarea puterii active.

Pentru sistemele la care neutrul nu este accesibil se utilizează schema de montare din fig. III.2.19 în care în locul R_{ad} sunt inductanţele L.

Metoda celor două varmetre

Schema de montare utilizată pentru măsurarea puterii reactive este asemănătoare cu cea utilizată la metoda celor două wattmetre (fig. III.2.27).

Puterea reactivă trifazată este dată de partea imaginară a relaţiei 2.3.7;

$$Q = U_{12}I_1\sin(U_{12}I_1) + +U_{32}I_3\sin(U_{32}I_3) = Q_1 + Q_3 \quad (2.3.27)$$

Observaţie:

Aşa cum s-a procedat pentru deducerea relaţiei 2.3.19, se poate demonstra că:

$$tg\varphi = \frac{1}{\sqrt{3}}\frac{Q_1 - Q_3}{Q_1 + Q_3} \quad (2.3.28)$$

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{3}\left(\frac{Q_1 - Q_3}{Q_1 + Q_3}\right)^2}} \quad (2.3.29)$$

Metoda celor trei wattmetre

În fig. III.2.28 este dată diagrama fazorilor reprezentativi ai tensiunilor şi curenţilor.

Din figură rezultă:

$$\underline{U}_{23} = \underline{U}_{20} - \underline{U}_{30} \quad (2.3.30)$$

$$U_{23}\sin\varphi = U_{23}\cos\left(\underline{U}_{23}, \underline{I}_1\right) \quad (2.3.31)$$

$$\sqrt{3}U_{10}\sin\varphi = U_{23}\cos\left(\underline{U}_{23}, \underline{I}_1\right) \quad (2.3.32)$$

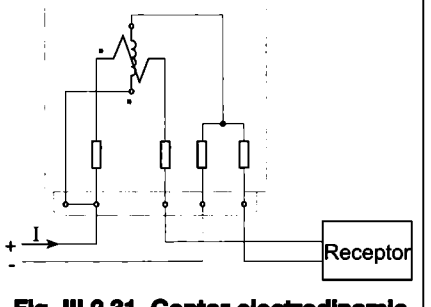


Fig. III.2.31. Contor electrodinamic de curent continuu.

$$U_{10}\sin\varphi = \frac{1}{\sqrt{3}}U_{23}\cos\left(\underline{U}_{23}, \underline{I}_1\right) \quad (2.3.33)$$

$$U_{10}\sin\left(\underline{U}_{10}, \underline{I}_1\right) = \frac{1}{\sqrt{3}}U_{23}\cos\left(\underline{U}_{23}, \underline{I}_1\right) \quad (2.3.34)$$

$$U_{10}I_1\sin\left(\underline{U}_{10}, \underline{I}_1\right) = \frac{1}{\sqrt{3}}U_{23}I_1\cos\left(\underline{U}_{23}, \underline{I}_1\right) \quad (2.3.35)$$

$$U_{20}I_2\sin\left(\underline{U}_{20}, \underline{I}_2\right) = \frac{1}{\sqrt{3}}U_{31}I_2\cos\left(\underline{U}_{31}, \underline{I}_2\right) \quad (2.3.36)$$

$$U_{30}I_3\sin\left(\underline{U}_{30}, \underline{I}_3\right) = \frac{1}{\sqrt{3}}U_{12}I_3\cos\left(\underline{U}_{12}, \underline{I}_3\right) \quad (2.3.37)$$

Adunând ultimele trei relaţii, se obţine:

$$U_{10}I_1\sin\left(\underline{U}_{10}, \underline{I}_1\right) + U_{20}I_2\sin\left(\underline{U}_{20}, \underline{I}_2\right) + +U_{30}I_3\sin\left(\underline{U}_{30}, \underline{I}_3\right) = = \frac{1}{\sqrt{3}}\begin{bmatrix} U_{23}I_1\cos\left(\underline{U}_{23}, \underline{I}_1\right) + \\ +U_{31}I_2\cos\left(\underline{U}_{31}, \underline{I}_2\right) + \\ +U_{12}I_3\cos\left(\underline{U}_{12}, \underline{I}_3\right) \end{bmatrix} \quad (2.3.38)$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(P_1 + P_2 + P_3\right) \quad (2.3.39)$$

Schema de montare corespunzătoare este dată în fig. III.2.29.

La receptoare echilibrate:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}}P;\ P = \sqrt{3}Q \quad (2.3.40)$$

În acest caz, puterea reactivă trifazată se poate măsura cu un wattmetru (fig. III.2.30).

2.4. Măsurarea energiei electrice

Se realizează cu contoare de energie activă, respectiv, reactivă. Contoarele se clasifică:

- *după natura curentului,* contoarele sunt: pentru c.c.; pentru c.a. monofazat şi trifazat; cele pentru c.a. trifazat sunt pentru reţele cu fir neutru şi fără fir neutru;
- *după mărimea măsurată,* contoarele sunt pentru: energie activă (wattorămetre); energie reactivă (varorămetre) şi pentru cantitatea de electricitate (amperorămetre);
- *după principiul de funcţionare,* contoarele sunt: cu simplu tarif (tarifare monomă); cu dublu tarif (tarifare binomă), care înregistrează, separat, energia electrică consumată în perioada de vârf şi energia consumată în restul timpului, preţul unităţii de energie fiind diferit în cele două intervale de timp; cu triplu tarif care înregistrează

separat energia electrică care se tarifează diferit în cele trei intervale de timp; de vârf - intră în funcțiune dacă puterea consumată depășește o putere limitată dinainte stabilită; de depășire - se înregistrează energia consumată pentru o putere inferioară unei limite stabilite și, separat, energia consumată pentru puteri superioare; cu plata anticipată - intră în funcțiune și închid circuitul consumator numai la introducerea unei monede (fise) funcționând până la consumarea energiei electrice achitate.

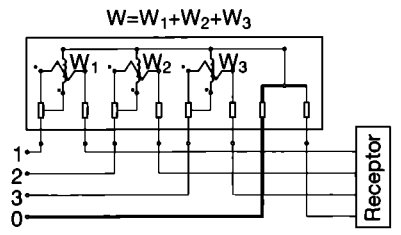


Fig. III.2.32. Contor pentru rețele trifazate cu fir neutru.

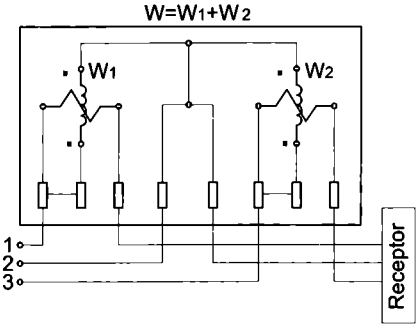


Fig. III.2.33. Contor pentru rețele trifazate fără fir neutru.

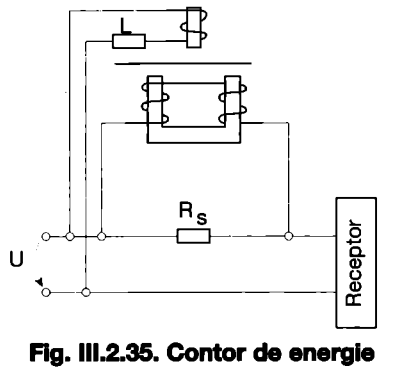


Fig. III.2.35. Contor de energie electrică reactivă monofazată.

Energia activă consumată de un receptor într-un interval de timp:
$\Delta t = t_2 - t_1$ este dată de relația:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt \qquad (2.4.1)$$

Rezultă că aparatul ce va măsura energia activă este un aparat integrator (totalizator). Ca urmare el trebuie să conțină un dispozitiv de măsurare wattmetric pentru măsurarea puteri active și un dispozitiv pentru integrarea acestei puteri în intervalul de timp dat.

Energia reactivă consumată de un receptor într-un interval de timp $\Delta t = t_2 - t_1$ este dată relația:

$$W_r = \int_{t_1}^{t_2} Q dt \qquad (2.4.2)$$

În acest caz apare necesar un dispozitiv de măsurare varmetric și un dispozitiv pentru integrarea puterii reactive în intervalul de timp dat.

2.4.1. Măsurarea energiei electrice în curent continuu

Cel mai frecvent utilizat este contorul electrodinamic.

Schema de montare a contorului pentru măsurarea energiei electrice consumate de un receptor este dată în fig. III.2.31.

Energia electrică W_0 consumată de receptor într-un interval de timp t este dată de relația:

$$W_0 = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \frac{N}{C} \qquad (2.4.3)$$

în care:
C - este constanta contorului, [rot/kWh].

2.4.2. Măsurarea energiei electrice active

Măsurarea energiei electrice active în curent alternativ se efectuează cu contoare de inducție.

2.4.2.1 Măsurarea energiei electrice active în curent alternativ monofazat

Se efectuează cu contoare de inducție monofazate. Schema de montare a contorului este cu cea de la c.c. (fig. III.2.31)

Cantitatea de energie electrică W consumată de receptor într-un interval de timp t este dată de aceeași relație 2.4.3.

2.4.2.2 Măsurarea energiei electrice active în curent alternativ trifazat

Se efectuează cu contoare de inducție trifazate în mod diferit la rețelele electrice cu fir neutru față de rețelele electrice fără fir neutru. Practic, în cele două cazuri, măsurarea se efectuează cu trei, respectiv, două contoare de inducție monofazate sau cu contoare trifazate (fig. III.2.32, III.2.33).

Observație:

La tensiuni sau curenți mari, contoarelor li se atașează transformatoare de tensiune T_U, respectiv, de intensitate T_I (fig. III.2.34 a). În fig. III.2.34 b este prezentat un modul de conectare la rețea al unui contor tip CA 32 - trifazat cu două eclise mobile. Dacă raportul de transformare la transformatoarele de intensitate I_{tr}/i_{tr} este 100/5 A, 500/5 A, ... și al transformatoarelor de tensiune U_{tr}/u_{tr} este 6000/100 V, 35000/100 V, ... identic cu cel înscris pe plăcuța contorului, atunci constanta proprie a contorului C_{pc} = 1 și indexul contorului (cifrele indicate de mecanismul lui de înregistrare) indică direct cantitatea de energie consumată. În acest caz, constanta generală a contorului C_g este egală cu constanta proprie a contorului C_{pc}.

$$C_g = C_{pc} \qquad (2.4.4)$$

În cazul când raportul de transformare la transformatorul de intensitate sau la cel de tensiune nu este identic cu raportul înscris pe plăcuța contorului, rezultatul citirii este afectat de corecția denumită constanta generală a contorului C_g, care este dată de relația:

$$C_g = C_{pc} \frac{\frac{I_{tr}}{i_{tr}} \frac{U_{tr}}{u_{tr}}}{\frac{I_c}{i_c} \frac{U_c}{u_c}} \qquad (2.4.5)$$

în care:
I_{tr}/i_{tr} - este raportul de transformare al transformatorului de curent la montare;

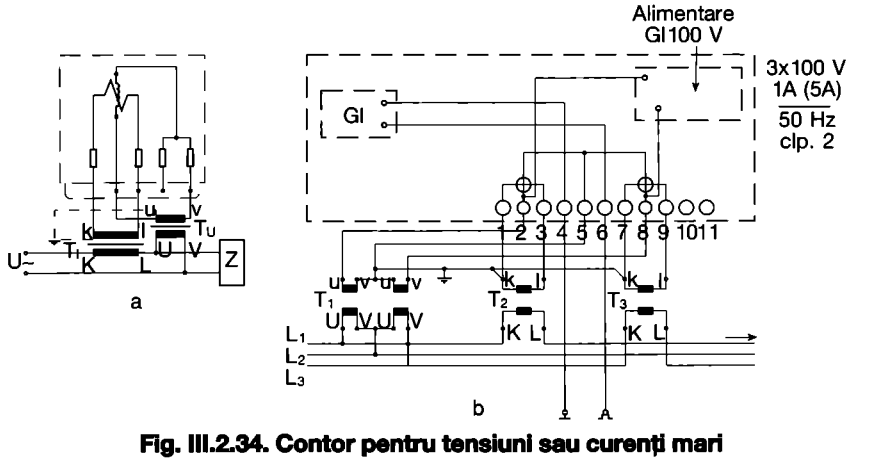


Fig. III.2.34. Contor pentru tensiuni sau curenți mari
a - montarea contorului de inducție prin intermediul Tı *și* Tu*;*
b - scena de montare indirectă a unui contor tip CA 32.

U_{tr}/u_{tr} - raportul de transformare al transformatorului de tensiune la montare;

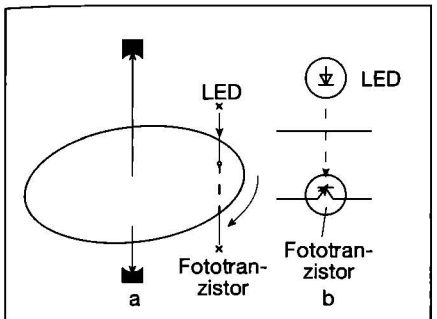


Fig. III.2.36. Principiul de transmitere la distanță a indicațiilor contoarelor:
a - schema mecanică;
b - schema electrică.

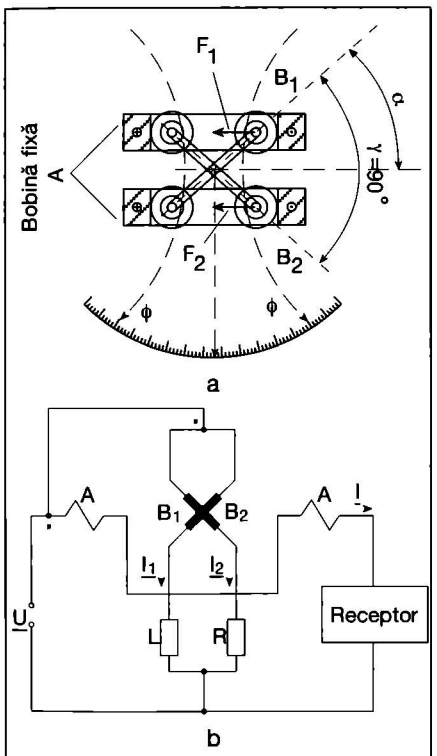


Fig. III.2.37. Fazmetru electrodinamic (măsurarea φ la circuitele monofazate):
a - schema mecanică;
b - schema electrică.

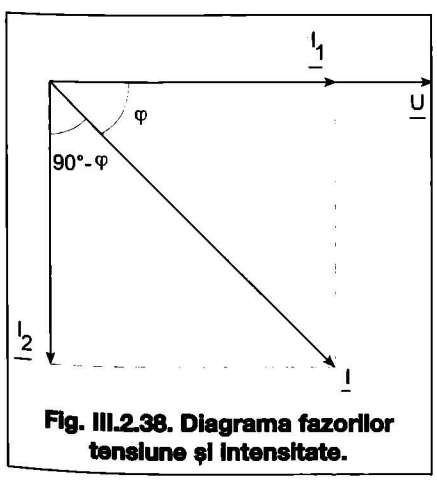


Fig. III.2.38. Diagrama fazorilor tensiune și intensitate.

I_c/i_c și U_c/u_c - raportul de transformare înscris pe plăcuța contorului.

Exemplul de calcul 1

Se cere să se calculeze C_g, cunoscând că pe plăcuța unui contor scrie $C_{pc} = 1$,

$$\frac{I_c}{i_c} = \frac{3x200}{5} A; \quad \frac{U_c}{u_c} = \frac{6.300}{100} V$$

iar transformatoarele, de intensitate existente sunt de 100/5 A iar cele de tensiune de 6000/110 V.

Rezolvare:

$$C_g = C_{pc} \frac{\frac{I_{tr}}{i_{tr}} \frac{U_{tr}}{u_{tr}}}{\frac{I_c}{i_c} \frac{U_c}{u_c}} = 1 \frac{\frac{100}{5} \frac{6000}{110}}{\frac{600}{5} \frac{6300}{100}} \cong 0,144$$

(2.4.6)

2.4.3. Măsurarea energiei electrice reactive

Se efectuează cu contoare de energie reactivă. Construcția lor este astfel realizată, încât cuplul activ este proporțional cu puterea reactivă. Schemele de montaj sunt asemănătoare cu cele de la contoarele de energie activă. În fig. III.2.35 este prezentat un contor de energie electrică reactivă monofazat.

2.4.4. Transmiterea la distanță a indicațiilor contoarelor de energie activă și reactivă

Principiul de transmitere la distanță a indicațiilor contoarelor constă în utilizarea unui optocuplor (LED și un fototranzistor). LED-ul și fototranzistorul sunt plasate de o parte și de alta a discului de aluminiu în care se practică un orificiu (fig. III.2.36). La fiecare rotație a discului, fototranzistorul primește o rază luminoasă de la LED transmițând mai departe un impuls. Cum energia consumată este direct proporțională cu numărul de rotații, impulsurile se transmit la un numărător unde se înmulțește cu o constantă și se obține măsurarea energiei electrice consumate.

Cu asemenea tipuri de contoare, impulsurile se pot transmite la un calculator care poate efectua diverse calcule și care afișează, pe display sau pe imprimantă, situația energetică a unei întreprinderi în orice moment și cumulat cu cunoașterea evoluției consumului pe parcurs. O asemenea instalație poate efectua bilanțul electroenergetic și poate controla, permanent, situația energetică a întreprinderii.

Alte detalii privind citirea la distribuție se dau în încheierea § 2.7.

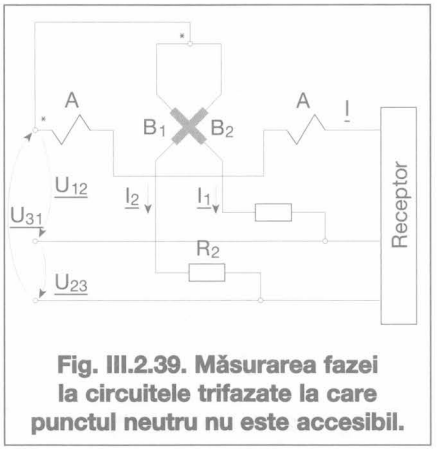


Fig. III.2.39. Măsurarea fazei la circuitele trifazate la care punctul neutru nu este accesibil.

2.5. Măsurarea defazajului și a factorului de putere

Măsurarea defazajului φ și a factorului de putere cos φ se efectuează prin metode directe și indirecte. După cum aparatele măsoară φ și cos φ se numesc fazmetre sau cosfimetre.

Măsurarea directă se realizează cu aparate electrodinamice și feromagnetice (electromagnetice), cu aparate tip clește ampermetric, cu osciloscopul, cu aparate ce au în componența lor elemente statice.

2.5.1. Măsurarea cu aparate electrodinamice

Aparatele electrodinamice sunt utilizate la măsurarea φ, respectiv, cos φ atât pentru circuitele monofazate cât și trifazate.

2.5.1.1 Măsurarea la circuitele monofazate

Schema de principiu a unui fazmetru electrodinamic este dată de fig. III.2.37.

Fazmetrul este alcătuit dintr-o bobină fixă (realizată din două jumătăți identice A-A montate în serie în circuitul parcurs de curentul I, care creează fluxul magnetic ϕ) și două bobine mobile B_1, B_2 fixate rigid între ele sub un unghi de 90°. În circuitul bobinei B_1 este conectată rezistența R, iar în circuitul bobinei B_2, inductivitatea L. Sensul fazorilor tensiune și intensitate din aparat este reprezentat în fig. III.2.38.

În aceste condiții apar forțele F_1 și F_2 care dau cuplurile M_1 și M_2 asupra bobinelor B_1 și B_2.

$M_1 = K_1 I I_1 \cos\varphi \sin\alpha$ (2.5.1)

$M_2 = K_2 I I_2 \cos(90°-\alpha) \sin(\gamma-\alpha)$ (2.5.2)

Dacă B_1 este identică cu B_2, atunci $K_1 = K_2 = K$.

La stabilirea echilibrului dispozitivului de măsurare $M_1 = M_2$;

$I_1 \cos\varphi \sin\alpha = I_2 \sin\varphi \cos\alpha$ (2.5.3)

sau

$$tg\alpha = \frac{I_2}{I_1} tg\varphi \qquad (2.5.4)$$

Pentru $I_1 = I_2$, relația 2.4.10 devine:

$$\alpha = \varphi \qquad (2.5.5)$$

Deci unghiul φ de defazaj între tensiune și curent este dat de unghiul de deviație α.

Când scala aparatului este divizată în unitățile valorilor unghiului φ ea este uniformă. Dacă este divizată în unitățile valorilor cos φ ea este neuniformă.

Observații:

- pentru obținerea unei scări uniforme în unități de cosφ, bobinele B_1 și B_2 se fixează sub un unghi mai mic decât 90° sau se aleg astfel parametrii circuitului încât $I_1 \neq I_2$;
- prezența reactanței inductive X_L în circuitul bobinei B_2 respectiv: $X_L = \omega \cdot L$, face ca indicațiile aparatului să depindă de frecvență: din acest motiv, fazmetrele se etalonează pentru o anumită frecvență;
- din relația $\alpha = \varphi$ rezultă că la schimbarea unghiului φ (sarcina poate fi inductivă „ind" sau capacitativă „cap.") se schimbă și semnul deviației α a dispozitivului de măsurare; din acest motiv cadranele fazmetrelor se construiesc cu zero la mijloc.

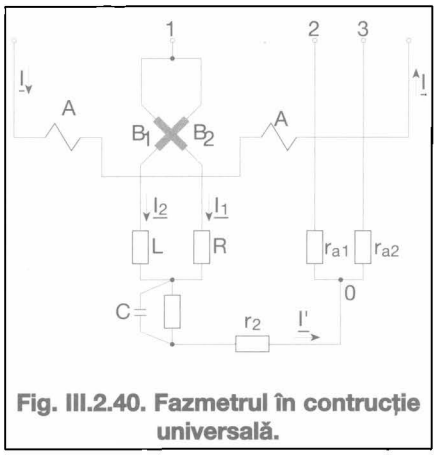


Fig. III.2.40. Fazmetrul în contrucție universală.

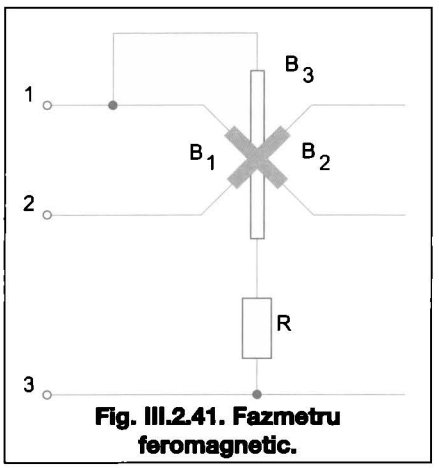


Fig. III.2.41. Fazmetru feromagnetic.

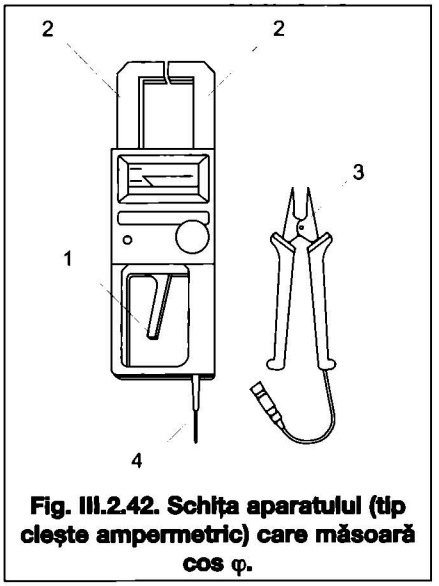


Fig. III.2.42. Schița aparatului (tip cleste ampermetric) care măsoară cos φ.

2.5.1.2 Măsurarea la circuitele trifazate

La circuitele trifazate simetrice la care punctul neutru este accesibil, măsurarea φ, respectiv, a cos φ se poate efectua cu fazmetrul descris, cu observația că bobinele de tensiune B_1, B_2 sunt alimentate cu tensiunea de fază.

La circuitele trifazate la care punctul neutru nu este accesibil, se utilizează fazmetrul trifazat (fig. III.2.39).

În cazul dat, în locul conductivității L, se montează o rezistență R_2.

La fazmetrul trifazat, defazajul între curenții I_1 și I_2 este de 60° și se realizează prin schema de conexiuni corespunzătoare înfășurărilor în circuitul trifazat.

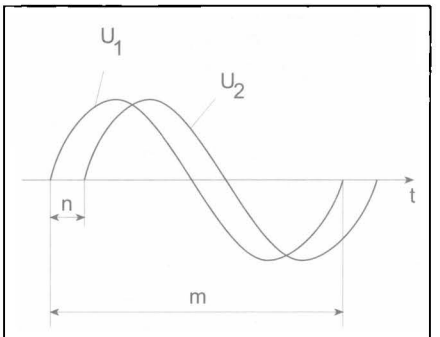


Fig. III.2.43. Observarea simultană pe ecranul osciloscopului a celor două tensiuni.

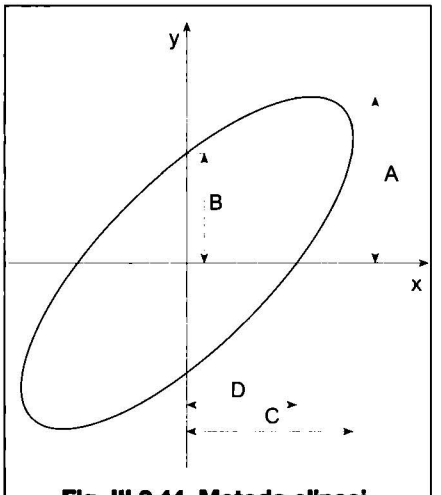


Fig. III.2.44. Metoda elipsei.

Fazmetrele se execută în mod obișnuit în construcția universală atât pentru circuite monofazate cât și pentru circuite trifazate simetrice (fig. III.2.40)

Bobinele B_1 B_2 sunt fixate sub un unghi de 60°, iar defazajul între I_1 și I_2 este tot de 60°.

Condensatorul C este necesar pentru realizarea coincidenței de fază a fazorului curentului $I' = I_1 + I_2$ cu fazorul tensiunii dintre punctele 1 și 0 (datorită acestui fapt se poate extinde limita de măsurare pentru tensiune, prin legarea rezistențelor adiționale r_{a1} sau r_{a2}).

Observații:

- pentru măsurarea unghiului de defazaj la circuitele monofazate, tensiunea se aplică în funcție de mărime, între bornele 1 și 0 sau 1 și 2;
- pentru circuitele trifazate simetrice, tensiunea se aplică la bornele 1, 2 și 3 (iar circuitul serie I-I se conectează la primul conductor al liniei);
- acul indicator al fazmetrelor nu revine la începutul scalei, ci rămâne în poziția unde a funcționat, datorită lipsei cuplului rezistent de natură mecanică (montare logometrică).

2.5.2. Măsurarea cu aparate feromagnetice (electromagnetice)

Schema de principiu este dată în fig. III.2.41

Cele două bobine fixe B_1 și B_2 și decalate între ele cu 60° sunt parcurse de curenți defazați la 120°. Bobina B_3 este fixă.

Dispozitivul de măsurare (echipajul mobil) alcătuit din B_1, B_2 în funcție de câmpul produs de B_3 se stabilește într-o poziție ce depinde de defazajul dintre curentul din B_3 și curenții din B_1, B_2.

Dispozitivul de măsurare are posibilitatea să devieze cu 360° ceea ce permite să se execute fazmetrul cu patru cadrane. El este confecționat ca un miez în formă de Z din material magnetic moale a cărui axă coincide cu axa bobinei B_3.

2.5.3. Măsurarea cu aparate tip cleste ampermetric

Aparatul are forma din fig. III.2.42

Prin acționarea manetei 1 se depărtează piesele 2 putând introduce, între ele, un conductor prin care trece un curent I. Cleștele 3 se conectează la fază, iar cordonul 4, la neutru; prin aceasta aparatul este pus sub tensiune.

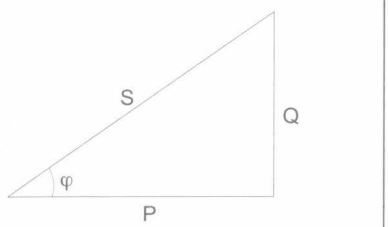


Fig. III.2.48. Triunghiul puterilor.

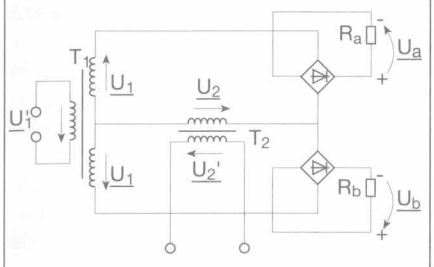


Fig. III.2.45. Aparat cu elemente statice.

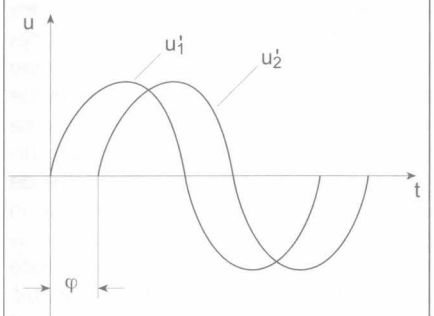


Fig. III.2.46. Modul de variație al tensiunilor u_1' și u_2'.

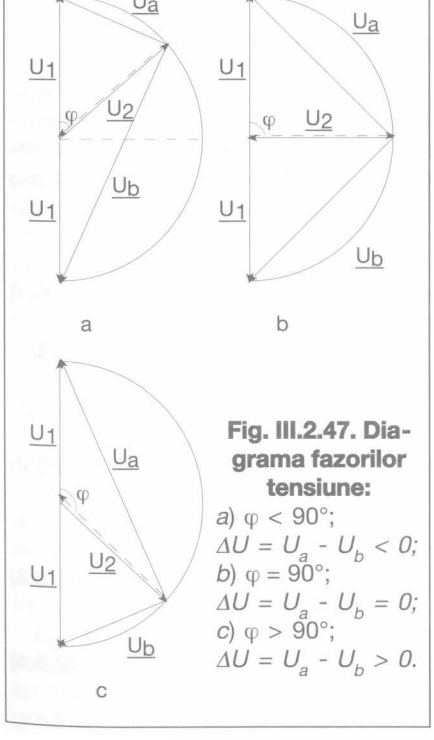


Fig. III.2.47. Diagrama fazorilor tensiune:
a) $\varphi < 90°$; $\Delta U = U_a - U_b < 0$;
b) $\varphi = 90°$; $\Delta U = U_a - U_b = 0$;
c) $\varphi > 90°$; $\Delta U = U_a - U_b > 0$.

2.5.4. Măsurarea unghiului de defazaj dintre două tensiuni cu osciloscopul

Se poate măsura cu osciloscopul cu două spoturi sau cu osciloscopul cu un spot.

Măsurarea cu osciloscopul cu două spoturi

Defazajul dintre două curbe de tensiune oarecare, având aceeași frecvență, se poate determina prin observarea simultană pe ecranul osciloscopului, ca în fig. III.2.43.

Defazajul φ este dat de relația:

$$\varphi = 360\frac{n}{m} \qquad (2.5.6)$$

Măsurarea cu osciloscopul cu un spot

Este utilizată metoda elipsei (figurile Lissajous). Se aplică plăcilor de deflexie pe verticală și orizontală cele două tensiunii:

$$u_1 = U_{1m} \sin \omega t \text{ și}$$
$$u_2 = U_{2m} \sin(\omega t - \varphi) \qquad (2.5.7)$$

care, având aceeași frecvență, determină obținerea pe ecran a unei elipse (fig. III.2.44.)

Dacă amplificatoarele osciloscopului nu introduc defazări, deviațiile spotului sunt:

$$y = k_1 u_1 = k_1 U_{1m} \sin \omega t = A \sin \omega t, \qquad (2.5.8)$$

$$x = k_2 u_2 = k_2 U_{2m} \sin(\omega t - \varphi) = C \sin(\omega t - \varphi). \qquad (2.5.9)$$

Deviațiile maxime pe verticală respectiv orizontală sunt:

$$y_{max} = A; \quad x_{max} = C \qquad (2.5.10)$$

Pentru a determina ordonata în origine a lui y, respectiv, y_0, trebuie pusă condiția $x = 0$, respectiv:

$\omega t - \varphi = 0$ sau $\omega t = \varphi$.

$$y_0 = B = A \sin \varphi, \qquad (2.5.11)$$

de unde:

$$\sin\varphi = \frac{B}{A}; \quad \varphi = arc \sin\frac{B}{A} \qquad (2.5.12)$$

Pentru a determina obținerea lui x în origine, respectiv, x_0 trebuie pusă condiția $y = 0$ respectiv $\omega t = 0$

$$x_0 = D = C \sin(-\varphi) = -C \sin\varphi \qquad (2.5.13)$$

În valoare absolută:

$$\sin\varphi = \frac{D}{C}; \quad \varphi = arc \sin\frac{D}{C} \qquad (2.5.14)$$

Având în vedere relațiile 2.5.12, 2.5.14 se poate scrie:

$$\varphi = arc \sin\frac{B}{A} = arc \sin\frac{D}{C} \qquad (2.5.15)$$

sau

$$\frac{B}{A} = \frac{D}{C} \qquad (2.5.16)$$

Observație:

Metoda conduce la determinarea defazajului în valoare absolută. Determinarea sensului se poate face, introducând la unul din semnale, un mic defazaj cunoscut, ca mărime și semn ,și observând modul în care se deformează elipsa. Dacă defazajul total crește, rezultă că defazajul inițial este de același semn cu cel introdus, iar în cazul în care scade, rezultă că defazajul inițial este de semn contrar cu cel introdus.

2.5.5. Măsurarea cu aparate cu elemente statice

Aparatele au la bază schema de principiu dată în fig. III.2.45.

Valorile instantanee ale lui u_1 și u_2 sunt arătate în fig. III.2.46.

Prin aplicarea tensiunilor U_1' și U_2' defazate cu unghiul φ transformatoarelor T1 și T2, pe rezistoarele de sarcină Ra și Rb se obțin tensiunilor U_a și U_b, variabile în funcție de φ. Aceasta se poate urmări în fig. III.2.47 unde sunt reprezentate diafragmele fazorilor tensiune.

Diferența dintre tensiunile U_a și U_b este dată de relația:

$$\Delta U = U_a - U_b = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2\cos\varphi} - \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + 2U_1U_2\cos\varphi} \qquad (2.5.17)$$

Exemplul de calcul 1

Pentru $\varphi < 90°$ (2.5.18)

Se consideră $\varphi = 60°$; $\cos 60° = 1/2$ (2.5.19)

$$\Delta U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - U_1U_2} - \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_1U_2} < 0 \qquad (2.5.20)$$

Exemplul de calcul 2

Pentru $\varphi = 90°(\cos\varphi = 0)$ (2.5.21)

$$\Delta U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2} - \sqrt{U_1^2 + U_2^2} = 0 \qquad (2.5.22)$$

Exemplul de calcul 3

Pentru $\varphi > 90°$ (2.5.23)

Se indică $\varphi = 120°(\cos 120° = -1/2)$ (2.5.24)

$$\Delta U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_1U_2} - \sqrt{U_1^2 + U_2^2 - U_1U_2} > 0 \qquad (2.5.25)$$

Din cele trei exemple, rezultă că:

$\Delta U = f(\varphi)$, respectiv, $\varphi = g(\Delta U)$ (2.5.26)

2.5.6. Măsurarea indirectă

Măsurarea indirectă a cos φ se poate realiza prin: măsurarea puterilor activă P și reactivă Q, a puterilor activă P și aparentă S, utilizând metoda celor două wattmetre sau a celor două varmetre.

Determinarea cos φ prin măsurarea P și Q, respectiv, P și S are la bază triunghiul puterilor (fig. III.2.48).

Din figură, rezultă:

$\operatorname{tg}\varphi = Q/P$ și

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\varphi}} \qquad (2.5.27)$$

sau

$\cos\varphi = P/S.$ (2.5.28)

- Utilizând metoda celor două wattmetre

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+3\left(\frac{P_3-P_1}{P_3+P_1}\right)^2}} \quad (2.5.29)$$

- Utilizând metoda celor două varmetre

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{3}\left(\frac{Q_1-Q_3}{Q_1+Q_3}\right)^2}} \quad (2.5.30)$$

Există și alte scheme de montare de măsurare a cos φ, fără afișare, utilizate în diverse aplicații, de exemplu, la economizorul static.

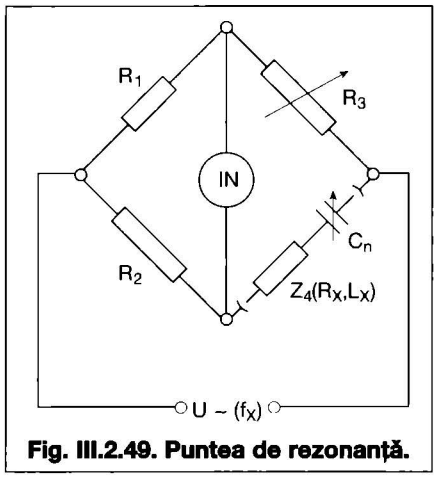


Fig. III.2.49. Puntea de rezonanță.

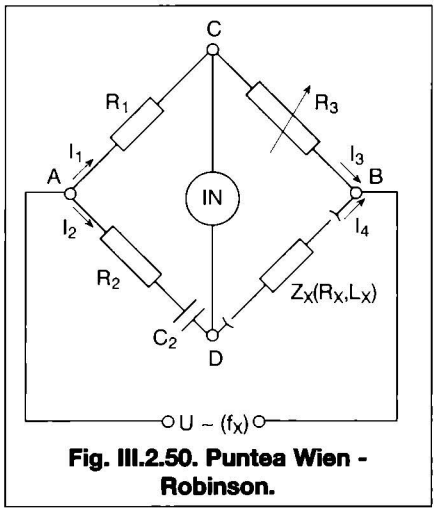


Fig. III.2.50. Puntea Wien - Robinson.

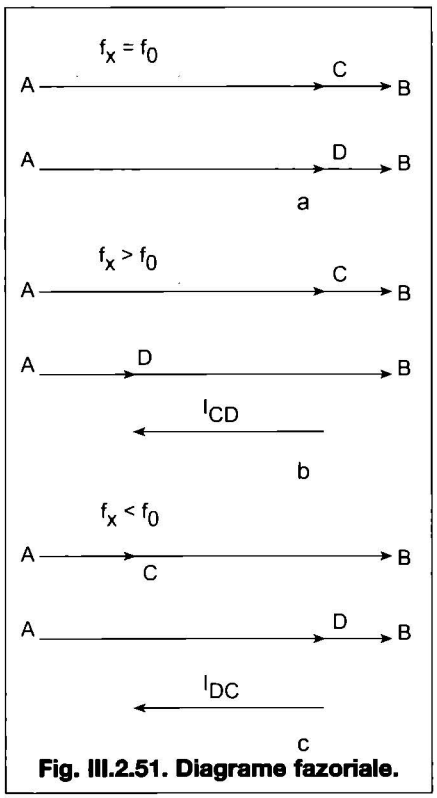


Fig. III.2.51. Diagrame fazoriale.

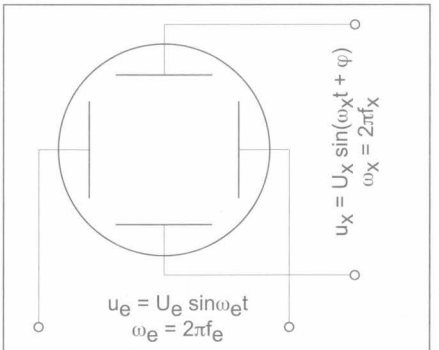


Fig. III.2.52. Aplicarea semnalelor u_e și u_x pe osciloscop.

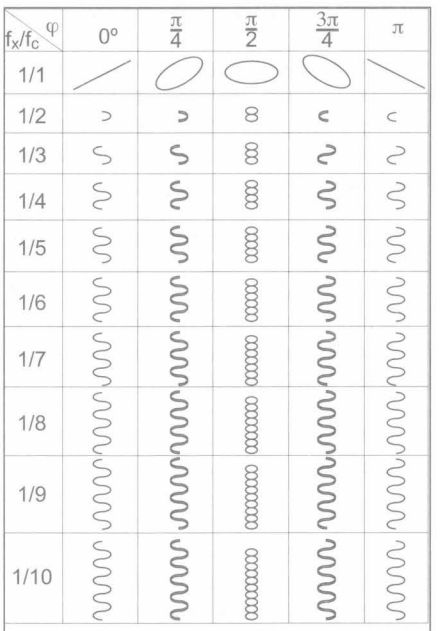


Fig. III.2.53. Curbele Lissajous pentru f_x/f_c = 1/1...1/10.

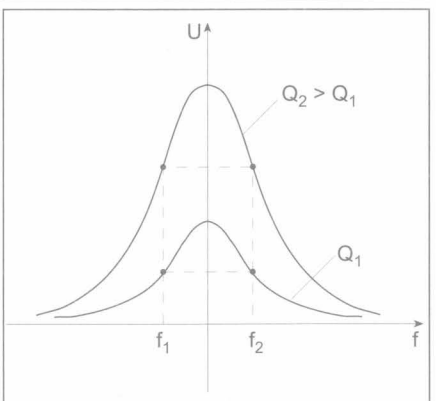


Fig. III.2.54. Variația tensiunii în funcție de frecvență și de factorul de calitate al bobinei.

2.6. Măsurarea frecvenței

Măsurarea frecvenței se efectuează prin metode directe și indirecte.

Măsurarea directă se realizează, în mod obișnuit, cu aparate bazate pe rezonanță mecanică și cu frecvențmetru numeric.

Măsurarea indirectă se realizează cu: metode de punte, metode de comparație cu o frecvență etalon, metode de rezonanță și cu filtre trece bandă.

2.6.1. Metode de punte

Constau în utilizarea punților de c.a. la care echilibrarea depinde de frecvența semnalului de studiat. Sunt utilizate frecvent puntea de rezonanță sau puntea Wien - Robinson. Ca aparate indicatoare de nul (IN), pentru frecvențe cuprinse între 300-500 Hz, sunt utilizate căști telefonice, galvanometre de vibrații (cu frecvența de rezonanță în domeniul frecvenței undei fundamentale) sau wattmetre electronice asociate cu filtre trece-bandă, alese convenabil. Prin „nul" se înțelege că sunetul auzit în căști are intensitatea minimă, că amplitudinea vibrațiilor constatate de galvanometru este minimă sau că wattmetrul indică o valoare minimă.

Metoda punții de rezonanță

Într-una din laturile punții este conectat un circuit serie LC (fig. III.2.49).

Se modifică R_3 și C_n până la echilibrarea punții (se obține rezonanța circuitului LC). Din condițiile de echilibru (prin egalarea părților reale și imaginare) se obține:

$$R_1\left(\frac{1}{j\omega C_n}+R_x+j\omega L_x\right)=R_2R_3 \quad (2.6.1)$$

de aici rezultă că este necesar că:

$$R_1R_x=R_2R_3$$

$$\frac{1}{\omega C_n}=\omega L_x \quad (2.6.2)$$

Din ultima relație se obține:

$$\omega=\frac{1}{\sqrt{L_xC_n}} \quad (2.6.3)$$

$$f_x=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_xC_n}} \quad (2.6.4)$$

Metoda punții Wien - Robinson

În fig. III.2.50 este reprezentată puntea Wien - Robinson

La echilibru:

$U_{AC} = U_{AD}$; $U_{BC} = U_{BD}$; $f_x = f_0$ (2.6.5)

adică:

$$R_1\left(R_x + j\omega L_x\right) = R_3\left(R_2 + \frac{1}{j\omega C_2}\right) \quad (2.6.6)$$

De aici rezultă că:

$$R_1R_x = R_2R_3 \quad (2.6.7)$$

$$\omega^2 \frac{R_1}{R_3} L_x C_2 = 1 \quad (2.6.8)$$

pentru $R_1 = R_3$ (2.6.9)

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_xC_2}} \quad (2.6.10)$$

$$f_x = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_xC_2}} \quad (2.6.11)$$

Puntea Wien - Robinson permite efectuarea măsurărilor cu precizie mai mare decât puntea de rezonanță (inductivitățile nu se pot realiza cu precizia cu care se realizează condensatoarele). În plus, condensatorul nu mai este necesar să fie variabil.

Din fig. III.2.51 rezultă modul în care se efectuează măsurarea în mod practic.

Referitor la fig. III.2.51 a; III.2.51 b; respectiv, III.2.51 c se poate scrie:

când $f_x = f_0 \Rightarrow U_{BC} = U_{BD}$; $V_C = V_D$ și $I_{CD} = 0$; (2.6.12)

când $f_x > f_0 \Rightarrow U_{BD} = f(R_x\omega L_x)$ crește; $U_{BD} > U_{BC}$; $V_C > V_D$ și $I_{CD} > 0$; (2.6.13)

când $f_x < f_0 \Rightarrow U_{BC} > U_{BD}$; $V_D > V_C$ și $I_{DC} > 0$. (2.6.14)

Din aceste relații rezultă că odată cu variația f_x variază și I_{CD}, respectiv, I_{DC}. Scala galvanometrului este etalonată în unități de frecvență.

2.6.2. Metode de comparație

Se bazează pe comparația frecvenței de măsurat cu o frecvență etalon (furnizată de un generator de frecvență). Comparația se efectuează cu osciloscopul catodic (metoda figurilor Lissajous, metoda modulației spotului în intensitate, metoda modulației în viteză a fasciculului de electroni și metoda sincronizării bazei de timp) și prin heterodinare (mișcarea sau interferarea celor două frecvențe).

Metoda figurilor Lissajous

Pe plăcile de deviație orizontală a unui osciloscop catodic se aplică un semnal u_e de frecvență f_e, iar pe plăcile de deviație verticală, semnalul u_x, de frecvență necunoscută f_x (fig. III.2.52).

Se demonstrează că, atunci când cele două tensiuni de frecvențe diferite au frecvențele într-un raport exprimabil printr-un număr rațional, se obțin curbe închise și imobile (figuri Lissajous) cu diferite forme corespunzătoare diferitelor defazaje între cele două semnale aplicate (fig. III.2.53).

Raportul f_x/f_e pentru $\varphi = 0°$ este dat de numărul punctelor de intersecție ale figurii cu două trepte, una orizontală p și alta verticală q.

$$\frac{f_x}{f_e} = \frac{p}{q} \quad (2.6.15)$$

Când frecvențele sunt egale:

$f_x/f_e = 1/1$ pe ecranul osciloscopului apare o elipsă.

Când frecvențele f_x și f_e diferă cu puțin, lucrurile se petrec ca și cum cele două tensiuni ar fi sincrone, dar faza uneia din ele ar varia lent în timp, ceea ce face ca imaginea pe ecran să fie o elipsă ce trece prin fazele reprezentate în fig. III.2.53 în mod periodic.

Această metodă se aplică pentru frecvențe al căror raport este mai mic decât 10; la depășirea acestui raport metoda devine inaplicabilă.

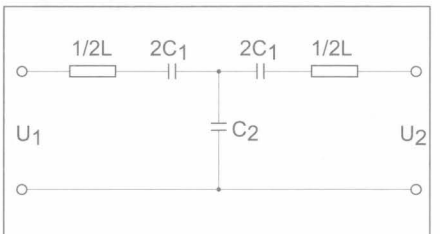


Fig. III.2.55. Filtru trece bandă.

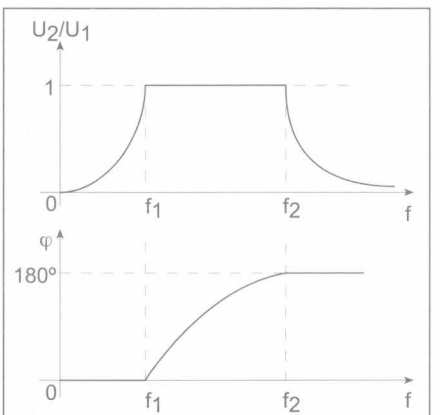


Fig. III.2.56. Caracteristicile filtrului trece bandă din fig. III.2.55.

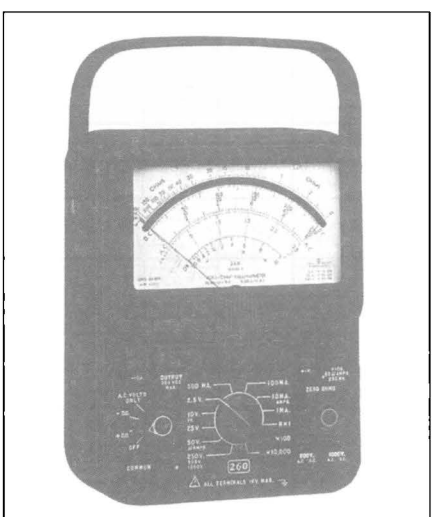


Fig. III.2.57. Multimetru analogic.

2.6.3. Metode de rezonanță

Sunt cu rezonanță mecanică (lame vibrante) prezentate la măsurarea directă a frecvenței și cu rezonanța electrică, bazate pe proprietatea selectivă a circuitelor LC serie și derivație. La metoda de comparație a fost prezentată partea de rezonanță ce utiliza un circuit LC serie.

Circuitele de măsurare cuprind un aparat indicator al maximului de curent, respectiv, al maximului de tensiune.

La rezonanță:

$$\frac{1}{\omega C} = \omega L \quad (2.6.16)$$

de unde:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}};\ f_x = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.6.17)$$

L - reprezintă o inductibilitate fixă,

C - o capacitate variabilă.

La aceeași frecvență nu se obține întotdeauna aceeași tensiune; aceasta depinde de factorul de calitate al bobinei $Q = \omega L/R$ (fig. III.2.54).

2.6.4. Filtru trece bandă

În fig. III.2.55 este dată schema electrică a unui filtru electric tip „trece bandă" ce funcționează pentru banda cu-

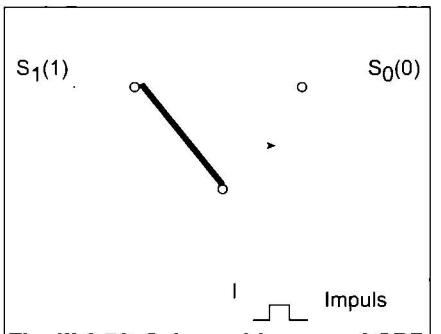


Fig. III.2.58. Schema bloc a unui CBB căruia i se aplică la intrare un impuls.

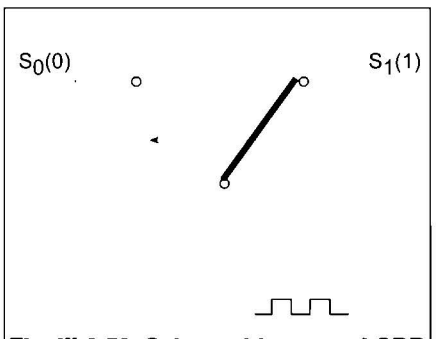


Fig. III.2.59. Schema bloc a unui CBB căruia i se aplică la intrare două impulsuri.

prinsă între f_1 și f_2.

În fig. III.2.56 sunt date caracteristicile filtrului cu tensiunea la intrare U_1 și la ieșire U_2 și faza φ pentru $f_1 \le f \le f_2$.

Când:

$U_2 = 0$; $\varphi = 0°$; $f < f_1$ (2.6.18)

$U_2 = 0$; $\varphi = 180°$ $f > f_2$ (2.6.19)

$U_2 = U_1$; $0 \le \varphi \le 180°$; $f_1 \le f \le f_2$ (2.6.20)

Rezultă că filtrul traduce variația frecvenței într-o variație de fază. Aceasta permite ca prin combinarea unui astfel de filtru cu un fazmetru să se obțină frecvența în funcție de tensiunea la ieșire U_2.

Observație:

În sistemele de reglare automată a frecvenței este folosit, uzual, fazmetrul cu filtru de trecere bandă.

2.6.5. Multimetre

Multimetrele sunt aparate care permit măsurarea analogă a mai multor mărimi electrice la tensiuni continue și alternative, a intensității continue și alternative, frecvenței etc. (fig. III.2.57).

Există multimetre la care treptele sunt aceleași în curent alternativ și continuu: de la 200 mV la 1 000 V și, respectiv, de la 2 la 200 mA. Un clește permite extinderea gamei intensităților alternative până la 150 A, cu raportul 1/1000. Pentru ohmetrul, intervalul este cuprins între 200 Ω și 20 MΩ. Folosind o celulă fotosensibilă, se pot efectua măsurări de iluminare de la 0 la 12000 lx care pot fi extinse până la 12.000 lx. O sondă de temperatură transformă aparatul în termometru, care măsoară de la -50 la +150 °C. În fine, o sondă de înaltă tensiune extinde posibilitatea multimetrului până la 30 kV.

Aparatele de măsurat analogice și electronice sunt prezentate în § 2.7. La noi în țară sunt produse astfel de aparate la Întreprinderea de Aparate Electrice de Măsurat (IAEM) Timișoara și la Întreprinderea de Elemente de Măsură Industrială (IEMI).

Tabelul III.2.1. De adevăr pentru circuitul logic ȘI-NU.

W1	0	0	1	1
W2	0	1	0	1
Y	1	1	1	0

Tabelul III.2.2. De adevăr a CBB-SR.

S	0	0	1	1
R	0	1	0	1
Q	1	1	0	1/0
$\bar{Q}$	1	0	1	0/1
	- Stare interzisă			

2.7. Aparate de măsurat numerice

2.7.1. Elemente componente

Elementele componente ale aparatelor de măsurat numerice sunt: circuitele basculante bistabile CBB, numărătoarele binare NB, decodificatoarele D, sistemele de afișare A și convertoarele.

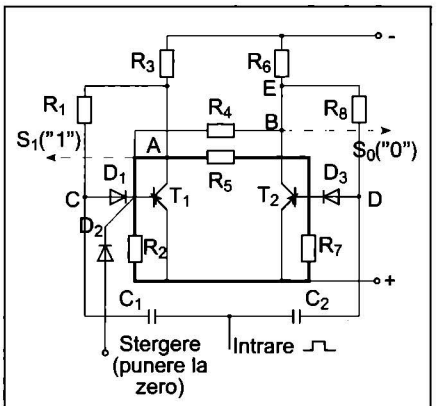


Fig. III.2.60. Schema electrică a CBB.

2.7.1.1 Circuite basculante bistabile CBB

Ele fac parte dintr-o categorie de circuite numite circuite basculante CB. Un circuit basculant privit sub forma unei cutii negre (black-box) arată ca în fig. III.3.58. Are o intrare *I* și două ieșiri S_1 și respectiv S_0.

Se consideră situația la un moment dat, în care comutatorul are poziția din fig. III.2.58.

- Dacă la intrare se aplică un impuls, atunci comutatorul își schimbă poziția (basculează) trecând pe poziția S_0 care devine $S_0(I)$, iar poziția S_1 devine $S_1(0)$ (fig. III.2.59). Această situație se păstrează un timp nelimitat. Dacă se mai dă un impuls (al doilea), comutatorul revine pe poziția inițială (fig. III.2.58), situație ce se păstrează un timp nelimitat, ș.a.m.d. CB care lucrează în acest mod are două poziții stabile care dau numele de CBB.

- CB la care se aplică la intrare un

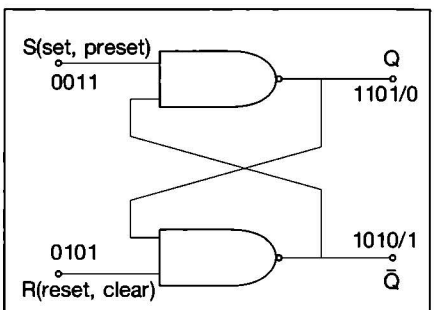


Fig. III.2.61. CBB cu circuite logice ȘI-NU.

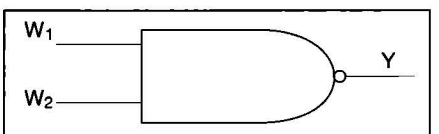


Fig. III.2.62. Simbolul circuitului logic ȘI-NU

Tabel III.2.3 Prezentarea funcționării unui număr binar cu patru ranguri.

Impuls numarare	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
CBB1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
CBB2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
CBB3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
CBB4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Semnal intrare																
CBB1 B1																
CBB1 B2																
CBB2 B3																
CBB2 B4																
CBB3 B5																
CBB3 B6																
CBB4 B7																
CBB4 B8																

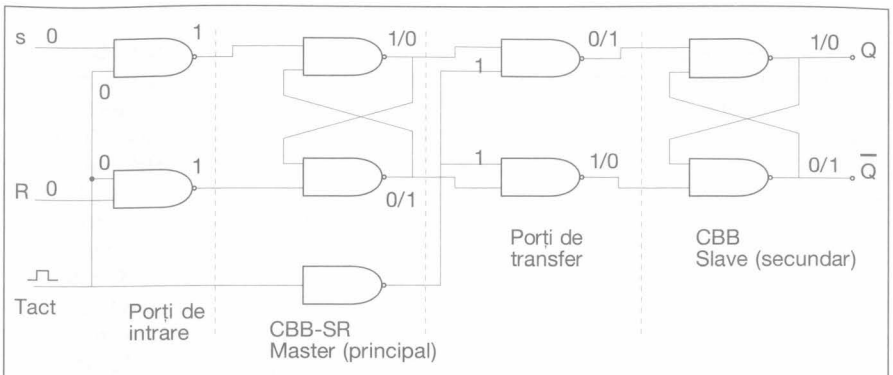


Fig. III.2.63. Circuitul Master-Slave MS.

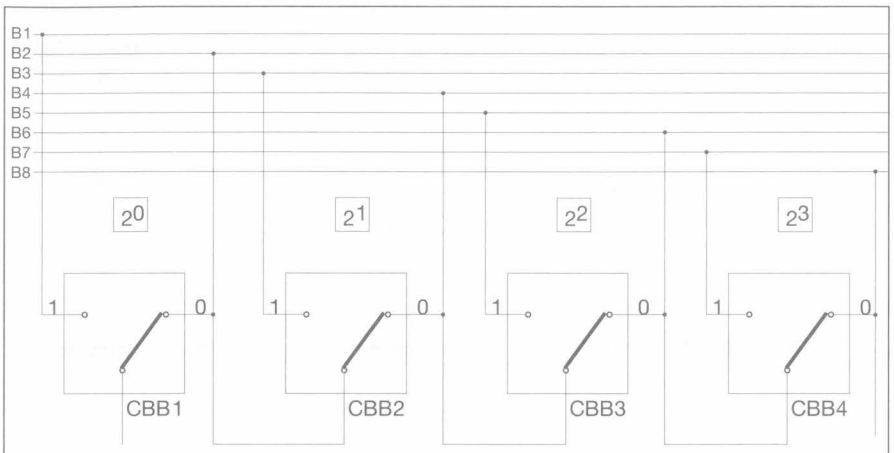


Fig. III.2.64. Principiul de funcționare al NB.

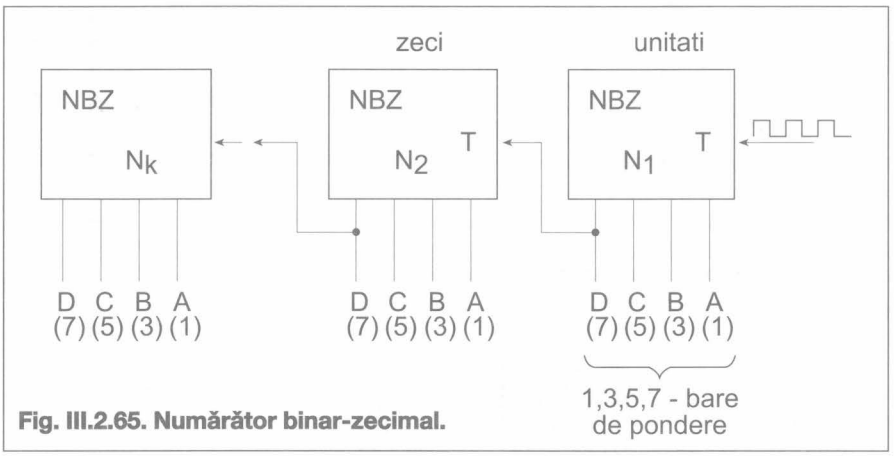


Fig. III.2.65. Numărător binar-zecimal.

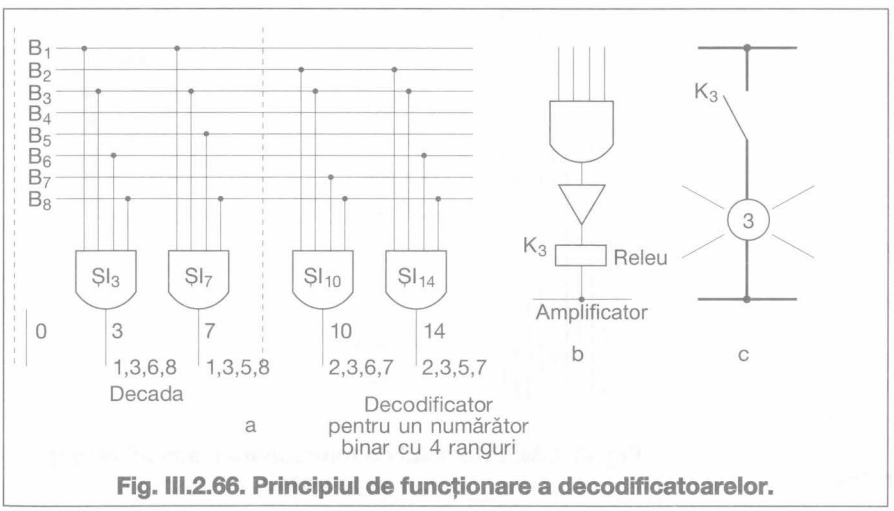


Fig. III.2.66. Principiul de funcționare a decodificatoarelor.

impuls (fig. III.2.58) comutatorul trecând pe poziția S_0 unde stă un timp prestabilit și apoi revine singur la poziția inițială; de aceea se numește circuit basculant monostabil (CBM). Are o singură poziție stabilă - cea inițială - CBM fiind utilizat ca releu de timp.

- CB la care se aplică la intrare un impuls (fig. III.2.58) comutatorul trecând pe poziția S_0 unde stă un timp prestabilit după care revine la poziția S_1 unde stă un timp prestabilit și iarăși revine la poziția $S_0(0)$ ș.a.m.d., deci basculează, tot timpul, la intervale de timp prestabilite; se numește circuit basculant astabil CBA, utilizat ca releu de pâlpâire, cu acțiune intermitentă.

Modul de funcționare al unui *CBB cu tranzistoare* (conținutul cutiei negre) este arătat în fig. III.2.60. CBB conține două tranzistoare, opt rezistențe, trei diode și două condensatoare.

Se consideră T_1 blocat și T_2 saturat. Dacă T_1 este blocat, prin el nu trece curent și în punctul A se va găsi un potențial negativ dat de sursa de alimentare. Acest potențial - semnal - este transmis la ieșirea S_1. Existând semnal pe ieșirea S_1 avem semnal logic „1". În același timp, T_2 fiind saturat (în conducție) în punctul B potențialul este zero și deci pe ieșirea S_0 semnalul este 0. Neexistând semnal pe ieșirea S_0, se spune că semnalul logic este „0". Această stare se menține un timp nelimitat.

Dacă se aplică la intrare un impuls pozitiv cu amplitudinea în modul mai mică decât a sursei de alimentare (de exemplu, impulsul are +9 V, iar sursa are -10 V), el va trece prin C_1 și C_2 și va ajunge în punctele *C* și *D*. Ajungând în *C*, semnalul care se aplică diodei D_1 este de + 9 - 10 = -1 V. Semnalul fiind negativ, D_1 nu conduce și starea existentă se menține. Ajungând în D, semnalul de +9 V se întâlnește cu semnalul de potențial E care este egal cu cel de potențial B, respectiv, 0.

Deci pe D_3 se aplică semnalul +9 V care, aplicat pe baza T_2, face ca aceasta să se blocheze. Ca urmare a blocării T_2 în punctul B, potențialul este cel al sursei de semn minus și el se aplică pe baza T_1 care intră în conducție, deci potențialul punctului A este zero și pe $S_1(0)$. Cum potențialul punctului B este cel al sursei rezultă $S_0(1)$. Au apărut condițiile în care s-au schimbat ieșirile - circuitul a basculat. Această stare se menține un timp nelimitat. La apariția unui nou impuls, după același mecanism, are loc o nouă basculare, ș.a.m.d. Dioda D_2 este montată pe circuitul de ștergere (sau punere la 0). Când se aplică pe D_2 un impuls pozitiv, T_1 se blochează și T_2 se saturează.

Această stare se transmite la un număr mare de CBB, toate pornind din această stare. Circuitele basculante bistabile pot fi realizate şi cu circuite logice integrate ŞI-Nu (fig. III.2.61). Tabela de adevăr (tab. III.2.1) a circuitului logic ŞI-NU este în legătură cu fig. III.2.62.

Tabela de adevăr a CBB-SR (tab. III.2.2). Se completează ţinând seama de tabelul III.2.1.

Pentru eliminarea stării interzise la intrarea CBB-SR se aplică un circuit combinaţional şi se obţine un CBB-JK

Ţinând seama de datele din tabelele III.2.1 şi III.2.2 şi considerând pe porţile de intrare semnale 0, la ieşirea CBB Master se obţine la ieşirea Q (1/0), iar la ieşirea negată $\bar{Q}$ (0/1). Se observă că prin porţile de transfer se descarcă informaţiile în CBB-Slave.

2.7.1.2 Numărătoare binare NB

Au la bază utilizarea CBB. În fig. III.2.64 este reprezentat un numărător cu 4 ranguri (are 4 CBB). CBB1 este de rang zero → 2^0, CBB2 este de rang unu → 2^1, CBB3 este de rangul doi → 2^2 iar CBB4 este de rang trei → 2^3.

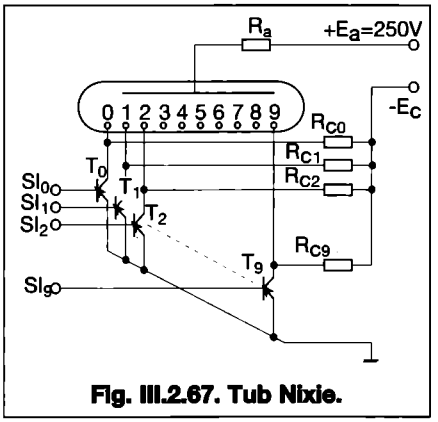


Fig. III.2.67. Tub Nixie.

În momentul iniţial *se consideră toate CBB puse pe poziţia 0.* Impulsurile ce vor fi numărate se aplică pe intrarea 1 şi se trec pe linia unu a tabelului III.2.3. Pe liniile 2...5 sunt notate barele de pondere 1, 3, 5, 7 şi se arată dacă ele sunt alimentate sau nu. Completarea coloanei 0 corespunzătoare impulsului 0 este zero (0000), pentru că nu a apărut nici un impuls (vezi linia 6, coloana 1).

La apariţia primului impuls CBB1 basculează pe poziţia 1 şi alimentează bara B1 de pondere. Se poate urmări în tabelul III.2.3, pe coloana 1, liniile 2...5 (1000) sau linia 7 în care se vede cum basculează CBB1.

La al doilea impuls, CBB1 basculează de pe poziţia 1 pe poziţia zero. Ca urmare, bara 1 rămâne nealimentată (v. col. 2 linia 1 şi col. 2 linia 7), dar se transmite un impuls la CBB2 care trece de pe poziţia „0" pe poziţia „1". Deci bara B3 este alimentată. Pe col 2 linia 2...5 este (0100). Pe col 2 linia 7 este 0 iar pentru B3 col. 2 linia 9 este 1.

La al treilea impuls CBB1 trece pe poziţia 1 iar CBB2 rămâne în aceeaşi stare Col.3 linia 2...5 → 1100, iar B1 şi B3 alimentate, col. 3 linia 7, 9. Se observă că pe coloanele 0...3 ale tabelului III.2.3 respectiv lin. 2...5 au

Tabelul III.2.4. Selectarea segmentelor la sisteme de afişare cu tuburi Nixie

Barele / Segmentele	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
b	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
c	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
d	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
e	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
f	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
g	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1

Tabelul III.2.5. Intrări-ieşiri a sistemului de afişare cu cifre sintetizate

	Tabel intrări				Tabel ieşiri						
	A	B	C	D	a	b	c	d	e	f	g
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
10	1	0	1	0	x	x	x	x	x	x	x
11	1	0	1	1	x	x	x	x	x	x	x
	1	1	0	0							

x - Stări diferente, neatinse de automat

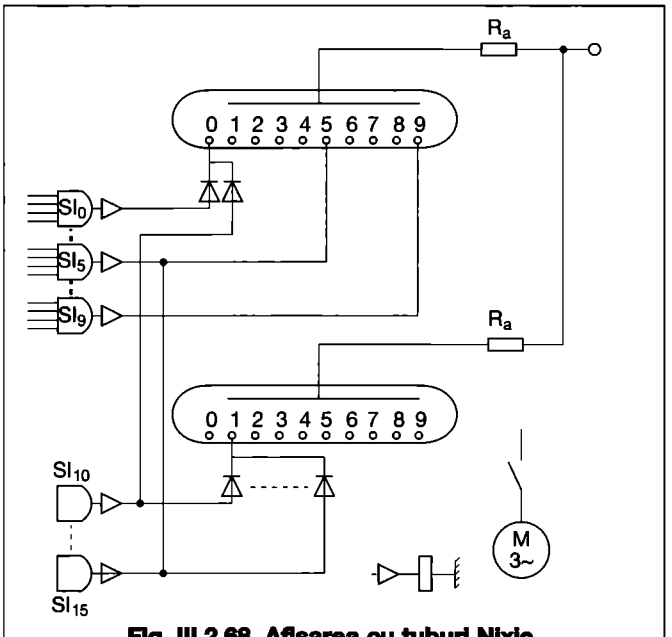


Fig. III.2.68. Afişarea cu tuburi Nixie.

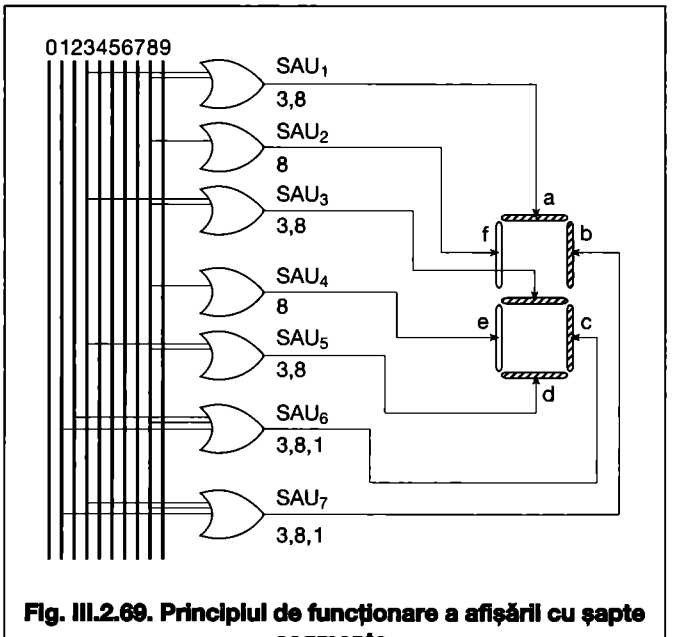


Fig. III.2.69. Principiul de funcţionare a afişării cu şapte segmente.

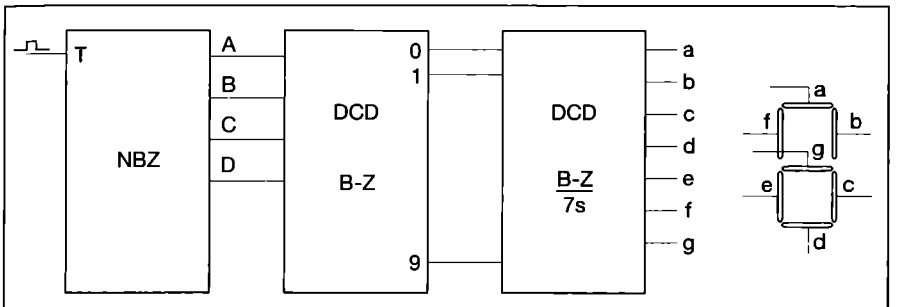


Fig. III.2.70. Afişarea cu cifre sintetizate.

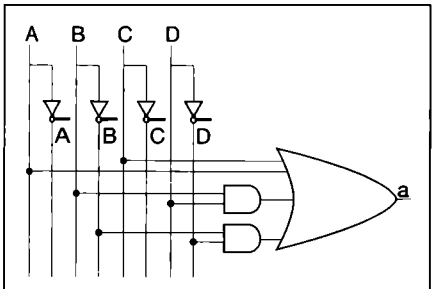


Fig. III.2.71. Alimentarea segmentelor.

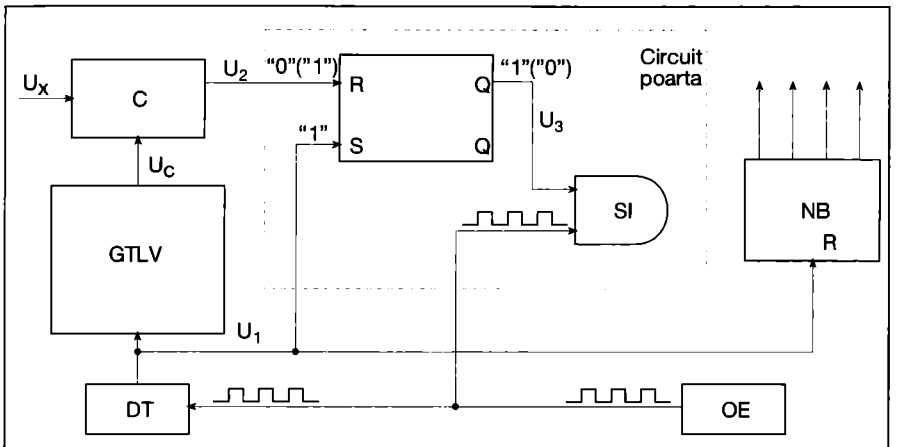


Fig. III.2.72. Schema bloc a CAN.

Tabel III.2.6. Minimizarea sistemului de afişare prin metoda Karnaugh

CD \ AB	00	01	11	10
00	1	0	X	1
01	0	1	X	1
11	1	1	X	X
10	1	1	X	X

D, C, A, B

apărut următorii biţi: la impulsul 0 (absent) respectiv 0000, la impulsul 1 → 1000; la impulsul 2 → 0100, la impulsul 3 → 1100, ş.a.m.d. Se constată că, de fapt, la fiecare nouă stare s-a adunat câte un bit (0000; 1000; 0100; 1100; 0100; 1010; 0110; 1110; 0001; 1001; 0101; 1101; 0011; 1011; 0111; 1111).

Aşa cum se face completarea liniilor 7, 9 pentru barele de pondere B1, B3 se face şi completarea liniilor 11, 13 pentru barele de pondere B5, B7. Pentru barele complementare B2, B4, B6, B8 completarea liniilor 8, 10, 12, 14 se face exact invers decât la barele de pondere.

Pentru impulsul 3 barele de pondere alimentate sunt în ordinea 1, 3, 5, 7 → 1100; pentru impulsul 7 → 1110; pentru impulsul 10 → 0101, iar pentru impulsul 14 → 0111.

Pentru trecerea din sistemul de numeraţie binar în cel zecimal este utilizată formula:

$$N_z = \sum_{k=0}^{n-1} 2^k \cdot P \qquad (2.7.1)$$

în care:

P - este ponderea $P = \{0,1\}$

Se aplică formula pentru exemplele enunţate: impuls 3 → 1100; 7 → 1110; 10 → 0101; 14 → 0111.

Impuls

$$3 \rightarrow N_z = \sum_{k=0}^{3} 2^k \cdot P =$$

$$= 2^0 \cdot 1 + 2^1 \cdot 1 + 2^2 \cdot 0 + 2^3 \cdot 0 = 3$$

$$7 \rightarrow N_z = 2^0 \cdot 1 + 2^1 \cdot 1 + 2^2 \cdot 1 + 2^3 \cdot 0 =$$

$$= 7$$

$$10 \rightarrow N_z = 2^0 \cdot 0 + 2^1 \cdot 1 + 2^2 \cdot 0 + 2^3 \cdot 1 =$$

$$14 \rightarrow N_z = 2^0 \cdot 0 + 2^1 \cdot 1 + 2^2 \cdot 1 + 2^3 \cdot 1 =$$

$$= 14$$

Observaţii:

1. Aplicarea formulei este greoaie şi atunci s-a căutat o soluţie directă. Cum de la sistemul zecimal am ajuns la cel binar printr-o codificare, ideea ar fi ca întoarcerea de la sistemul binar la cel zecimal să se facă printr-o decodificare. Elementul (dispozitivul, aparatul) care face trecerea de la sistemul de numeraţie binar la cel zecimal este decodificatorul. Decodificatorul are la bază cunoaşterea barelor alimentate din NB.

Exemplu: pentru impulsul 3, barele alimentate sunt 1, 3, 6, 8.

Pentru impulsul 7, barele alimentate sunt 1, 3, 5, 8

Pentru impulsul 10, barele alimentate sunt 2, 3, 6, 7

Pentru impulsul 14, barele alimentate sunt 2, 3, 5, 7

2. În mod obişnuit, NB au 4 CBB, ele fiind utilizate pentru a efectua numărări din binar în zecimal NBZ. De fapt, un NBZ numără unităţi de la 0, 1,...9. Dacă apare un impuls, se trece pe 0 şi se transportă 1 la un alt NBZ pentru zeci (fig. III.2.65).

2.7.1.3 Decodificatoare D

Decodificarea din sistemul de numeraţie binar în cel zecimal se face pe baza unor circuite ŞI.

În fig. III.2.66 b şi III.2.66 c este arătat cum se realizează, principial, afişarea. Practic se realizează cu tuburi Nixie şi cifre sintetizate.

2.7.1.4 Sisteme de afişare A

Sunt cu tuburi Nixie şi cu cifre sintetizate

Tuburile Nixie sunt indicatoare optoelectronice cunoscute şi sub denumirea de digitroane (fig. III.2.67).

Sunt alcătuite dintr-un tub de sticlă umplut cu gaz (neon), 10 catozi din sârmă de crom-nichel care au forma cifrelor 0, 1...9 şi un anod realizat sub forma unei plase ce înconjoară grupul de catozi. Circuitul de comandă este format din 10 tranzistoare p-n-p pe baza cărora se aplică semnale provenind de la un decodificator. Când un tranzistor este saturat, potenţialul colectorului său este, practic, zero, iar tensiunea dintre catodul aferent şi anod este egală cu E_a. Întrucât $U_{apr} > E_a$ şi, anume, $U_{apr} = E_a + E_c$, descărcarea nu se amorsează. Când un tranzistor este blocat, tensiunea pe colectorul său este egală cu $-E_c$, iar tensiunea dintre anod şi catod este $E_a + E_c$, descărcarea se amorsează şi catodul respectiv devine luminiscent, având o culoare ce depinde de natura gazului (roşie, pentru neon). Aceasta se întâmplă ori de câte ori pe una din ieşirile de la decodificator se obţine un impuls pozitiv, care blochează, prin bază, tranzistorului respectiv.

Curentul absorbit este de ordinul mA, timpul de răspuns 10 μs, iar durata de viaţă circa 150.000 ore.

În fig. III.2.68 este arătat principiul de

funcționare a sistemului de afișare cu tuburi Nixie.

Principiul de funcționare a cifrelor sintetizate (cu șapte segmente) rezultă din fig. III.2.69. Fiecare cifră poate fi afișată prin selectarea adecvată segmentelor. Sistemul are un geam mat în față și lămpi care iluminează fantele cifrei.

Selectarea segmentelor se realizează conform tabelului III.2.4.

Practic, sistemul de afișare cu cifre sintetizate (afișarea cu 7 segmente) se realizează cu un număr binar zecimal NBZ, un decodificator binar-zecimal DCD-BZ, un decodificator din binar în 7 segmente DCD-7s și cifra realizată din 7 segmente (fig. III.2.70).

Tabelul de intrări-ieșiri al sistemului de afișare este dat în tabelul III.2.5.

Ținând seama de fig. III.2.70 și tabelul III.2.5 se poate scrie ecuația logică pentru segmentul a, b...g. Prin metoda diagramelor Kaurnaugh se poate efectua minimizarea ca în tabelul III.2.6.

Tuburile Nixie utilizate frecvent în aparatele de măsurat au înălțimea caracterelor de 13 mm. Plasarea suprapusă a catozilor este dezavantajoasă pentru cei posteriori, lizibilitatea reducându-se pentru aceștia, la unghiuri de vizualizare mai mici de 100°. Dezavantajul cel mai important care va conduce la dispariția tuburilor cu descărcare în gaze constă în faptul că utilizează tensiuni de alimentare ridicate (min. 170 V).

Segmentele cifrelor sintetizate pot fi luminate cu LED-uri (Light Emitting Diodes) - diode electroluminiscente - sau LCD (Liquid Crystal Display) - cristale lichide.

LED-urile sunt dispozitive semiconductoare cu joncțiune p-n, care emit radiații, în spectrul vizibil, atunci când sunt polarizate direct. Caracterele sunt dispuse într-un singur plan, realizările practice, fiind cu 7 segmente pentru afișarea cifrelor 0...9 și a literelor ABCDEFHJLPSU sau cu o matrice de 5 x 7 sau 4 x 7 puncte pentru afișarea alfanumerică.

Sunt compatibile cu circuitele integrate TTL și COS-MOS, funcționează în domeniul de temperatură 0...70°C și -55...200°C, durata de viață, 100000 h. Înălțimea caracterelor este de 2,5...15 mm pentru care se obține un consum de 60...280 mW cu toate segmentele polarizate.

Cristalele lichide prezintă proprietatea de fluiditate a lichidelor și structura moleculară ordonată, caracteristică solidelor. Asemenea cristale lichide, depuse între două plăci conductoare transparente, în momentul în care sunt supuse unui câmp electric, prin aplicarea unei tensiuni continue între plăcile conductoare, își schimbă orientarea cristalelor astfel încât lumina nu mai poate străbate. În acest mod, variația opacității cristalului lichid se poate utiliza pentru a afișa un semn sau o cifră. Sunt compatibile cu circuitele integrate COS-MOS, funcționează în domeniul de temperatură 0-55 °C, durata de viață circa 10.000 h are timp de răspuns 20-100 ms, consum extrem de redus.

Din tabelul III.2.4 rezultă că segmentul *a* este alimentat („1") când A, B, C, D sunt toate nule, deci se scriu sub forma $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D}$, ș.a.m.d.

$$a = \bar{A}\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}\cdot\bar{D} + \bar{A}\cdot\bar{B}\cdot C\cdot\bar{D} + \bar{A}\cdot\bar{B}\cdot C\cdot D + \bar{A}\cdot B\cdot\bar{C}\cdot\bar{D} + \bar{A}\cdot B\cdot C\cdot\bar{D} + \bar{A}\cdot B\cdot C\cdot D + A\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}\cdot\bar{D} + A\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}\cdot D \quad (2.7.2)$$

Se efectuează minimizarea și rezultă:

$$a = \underline{\bar{C}} + \underline{A} + \underline{B\cdot\bar{D}} + \underline{\bar{B}\cdot\bar{D}} \quad (2.7.3)$$

La fel se procedează pentru b, c...g. Pentru alimentarea segmentului A

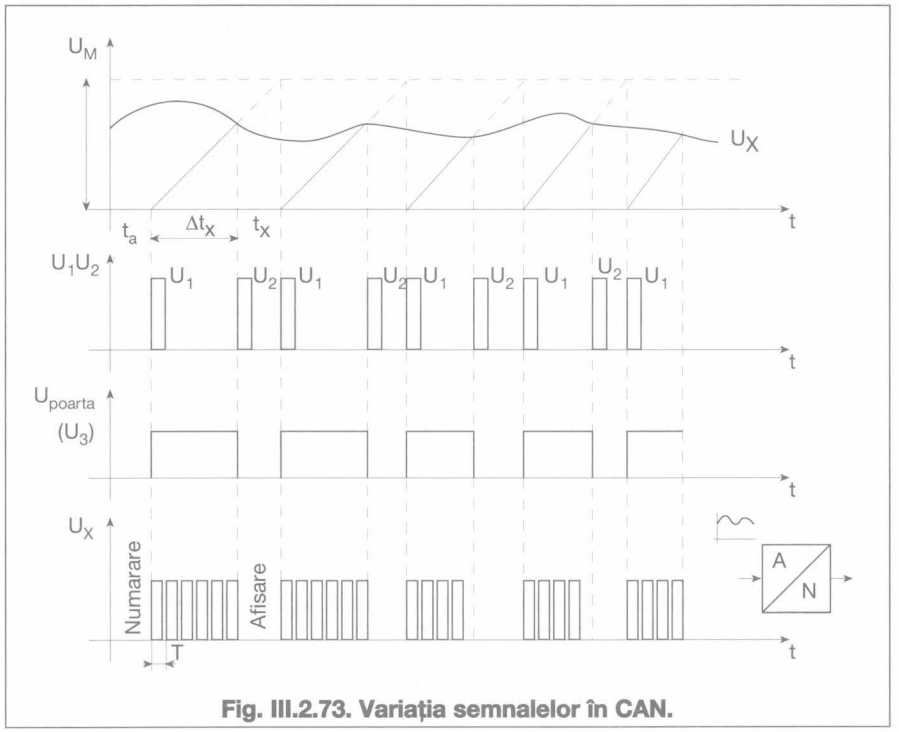


Fig. III.2.73. Variația semnalelor în CAN.

Tabelul III.2.7. Pentru convertoare cu 7 intrări

Intrare	A	B	C	U_e [V]
	2^2	2^1	2^0	
0	0	0	0	0V
1	0	0	1	1V
2	0	1	0	2V
3	0	1	1	3V
4	1	0	0	4V
5	1	0	1	5V
6	1	1	0	6V
7	1	1	1	7V

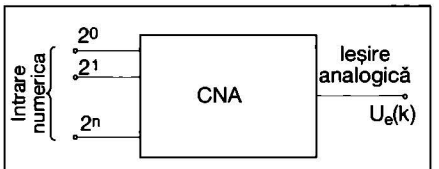


Fig. III.2.74. Schema bloc a CNA.

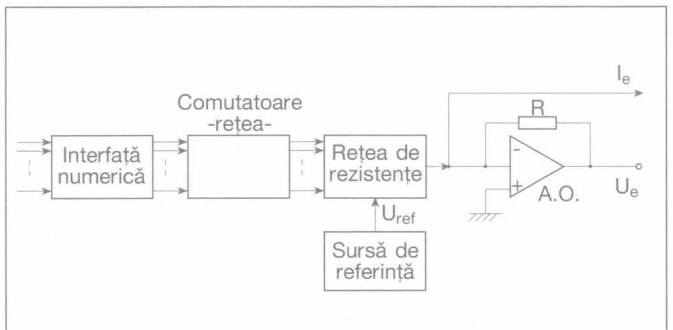


Fig. III.2.75. Schema de structură a CNA.

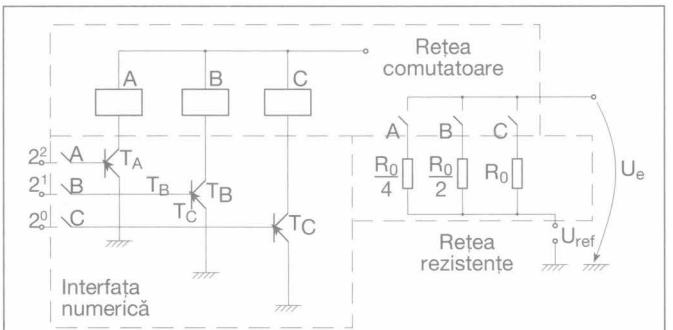


Fig. III.2.76. Schema electrică de principiu a CNA.

schema este dată în fig. III.2.71.

2.7.1.5 Convertoare

Convertoare analog - numerice CAN

Aceste convertoare transformă tensiunea continuă U_x de măsurat într-un număr binar, proporțional cu această tensiune. Principiul de funcționare a CAN rezultă din fig. III.2.72 și III.2.73.

Oscilatorul OE generează impulsuri. Inițializarea - începerea procesului de măsurare - este dată de impulsul U_1 (aducerea la zero a NB). Odată cu aceasta GTLV produce o tensiune etalon sub formă de rampă U_c (încărcarea unui condensator sub I = const) dată de relația:

$$U_c = k(t_x - t_0) \quad (2.7.4)$$

în care:

t_0 - este timpul (momentul) la care GTLV începe să genereze U_c;

t_x - timpul (momentul) corespunzător la care $U_c = U_x$.

În momentul în care $U_c = U_x$, impulsul U_2 care marchează terminarea măsurării, este generat de comparatorul C. Ca urmare, U_3 devine „0" și NB nu mai primește impulsuri pentru numărare.

În acest moment:

$$U_x = U_c = k(t_x - t_0) \text{ sau } (t_x - t_0) = U_x/k \quad (2.7.5)$$

Pe durata $t_x - t_0$ prin circuitul poartă trec N impulsuri de perioadă T:

$$N = (t_x - t_0)/T \text{ sau } t_x - t_0 = NT \quad (2.7.6)$$

Egalând relațiile 2.7.5 și 2.7.6:

$$t_x - t_0 = U_x/k = NT \quad (2.7.7)$$

$$U_x = kNT \text{ sau } N = U_x/kT = KU \quad (2.7.8)$$

Rezultă că numărul impulsurilor numărate N este proporțional cu mărimea tensiunii măsurate.

Din relația 2.7.8 → $U_x = kNT$ rezultă că precizia măsurării depinde direct de N. Precizia măsurării este cu atât mai bună, cu cât frecvența (OE) este mai mare sau panta U_c este mai mică. Se preferă mărirea frecvenței OE, deoarece micșorarea pantei U_c duce la mărirea timpului de eșantionare.

Observație. Timpul de succesiune a impulsului U_1 determină timpul de eșantionare.

Convertoare numeric - analogice CNA

Aceste convertoare sunt sisteme cu mai multe intrări (n unități binare aplicate la cele n intrări) și o singură ieșire (tensiune sau curent de nivel corespunzător) fig. III.2.74.

Asemenea convertoare sunt necesare la ieșirea unui sistem numeric în cazul când semnalul de ieșire trebuie să acționeze un ac înregistrator sau un servomotor cuplat la cursorul unui potențiometru.

În cazul unei rețele cu trei intrări, n = 3, se pot aplica combinații diferite de „0" și „1", într-un număr egal cu $2^n = 2^3 = 8$ (tab. III.2.7).

Pentru a transforma cele opt semnale numerice (000)...(111) în tensiuni analogice echivalente, se alege un domeniu de variație a acestor tensiuni, prin determinarea valorilor maxime și minime. De exemplu, celui mai mic număr (000) să-i corespundă la ieșirea 0 V iar celui mai mare (111) să-i corespundă 7 V.

Practic, acești 7 V se vor împărți în 7 nivele distincte, corespunzătoare celor 7 numere cuprinse între 000 și 111. Rezultă că o treaptă de tensiune de 1 V corespunde unui 1 în unitatea binară cea mai puțin semnificativă din numărul binar (2°). Cifra 1 în rangul imediat următor (2^1), trebuie să determine o schimbare a tensiunii de ieșire de 2 ori mai mare (2 V). Cifra 1, în rangul 2^2 - cel mai semnificativ în cazul sistemului cu trei ranguri, trebuie să determine o schimbare a tensiunii de ieșire de patru ori mai mare față de primul, deci 4 V.

În general, unei rețele cu n intrări, corespunzătoare la n ranguri binare, i se pot aplica $2^n - 1$ numere binare bine distincte, ponderile succesive ale intrărilor fiind $1/(2^n - 1)$ pentru rangul cel mai puțin semnificativ și care determină o treaptă de tensiune la ieșire; $2/(2^n - 1)$ pentru rangul următor care determină două trepte de tensiune la ieșire; $2^2/(2^n - 1)$ pentru rangul binar corespunzător lui 2^2. Practic, aceste ponderi se realizează cu un divizor care trebuie să satisfacă următoarele cerințe:

- rangul binar 2^0 să determine apariția 1 V la ieșire; rangul binar 2^1 să determine apariția a 2 V la ieșire; rangul 2^2 să determine apariția a 4 V la ieșire și, în general, rangul 2^0 să determine o tensiune de 2^n V la ieșire;
- tensiunile corespunzătoare acestor ranguri să poată fi însumate pentru a da tensiunea analogică totală la ieșire.

CNA are structura conform fig. III.2.75 care, adaptată pentru trei intrări numerice n = 3, are schema de principiu ca în fig. III.2.76.

Pornind de la:

$$\frac{U_e}{R_0} = \frac{U_{ref}}{R_E} \quad (2.7.9)$$

în care:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{\frac{R_0}{4}} + \frac{1}{\frac{R_0}{2}} + \frac{1}{R_0} \quad (2.7.10)$$

sau

$$\frac{1}{R_E} = \frac{4}{R_0} + \frac{2}{R_0} + \frac{1}{R_0} \quad (2.7.11)$$

se obține:

$$U_e = \frac{R_0}{R_E} U_{ref} \quad (2.7.12)$$

Ținând seama de relația 2.7.11, relația 2.7.12 poate fi scrisă sub forma:

$$\boxed{A}\ \boxed{B}\ \boxed{C}$$

$$U_e = R_0\left(\frac{4}{R_0} + \frac{2}{R_0} + \frac{1}{R_0}\right)U_{ref} \quad (2.7.13)$$

Cu relația 2.7.13 se pot calcula tensiunile la ieșire U_e corespunzătoare intrărilor numerice date de tabelul III.2.7.

Dacă toate intrările sunt 0

$A = 0; B = 0; C = 0$ $\boxed{000}$

atunci contactele releelor A, B, C din rețeaua de comutatoare sunt deschise și

$$R_E \to \infty \to \frac{1}{R_E} = 0 \to U_e = R_0 \cdot 0 \cdot 1 = \boxed{0} \quad (2.7.14)$$

Dacă se închide contactul C la interfața numerică, conduce tranzistorul T_C și anclanșează bobina releului C. Ca urmare, se închide contactul normal deschis (cnd) C și este alimentată rezistența R_0. Deci la semnul 1, pe intrarea C (rangul 2^0) este alimentată rezistența R_0.

$A=0; B=0; C=1$ $\boxed{001}$

$$U_e = R_0\left(0 + 0 + \frac{1}{R_0}\right)1 = \boxed{1V} \quad (2.7.15)$$

Dacă : A=0; B=1; C=0 $\boxed{010}$

$$U_e = R_0\left(0 + \frac{2}{R_0} + 0\right)1 = \boxed{2V} \quad (2.7.16)$$

Dacă : A=0; B=1; C=1 $\boxed{011}$

$$U_e = R_0\left(0 + \frac{2}{R_0} + \frac{1}{R_0}\right)1 = \boxed{3V} \quad (2.7.17)$$

Dacă : A=1; B=0; C=0 $\boxed{100}$

$$U_e = R_0\left(\frac{4}{R_0} + 0 + 0\right)1 = \boxed{4V} \quad (2.7.18)$$

Dacă : A=1; B=0; C=1 $\boxed{101}$

$$U_e = R_0\left(\frac{4}{R_0} + 0 + \frac{1}{R_0}\right)1 = \boxed{5V} \quad (2.7.19)$$

Dacă : A=1; B=1; C=0 $\boxed{110}$

$$U_e = R_0\left(\frac{4}{R_0} + \frac{2}{R_0} + 0\right)1 = \boxed{6V} \quad (2.7.20)$$

Dacă : A=1; B=1; C=1 $\boxed{111}$

$$U_e = R_0\left(\frac{4}{R_0} + \frac{2}{R_0} + \frac{1}{R_0}\right)1 = \boxed{7V} \quad (2.7.21)$$

Aceste tensiuni U_e se trec în ultima coloană a tabelului III.2.7. Ele corespunzând intrărilor numerice A, B, C.

2.7.2. Voltmetre şi ampermetre numerice

Schema bloc a acestora este dată în fig. III.2.77. Voltmetrul conţine un circuit de intrare CI care are o impedanţă mare la intrare Z_i în vederea introducerii unei erori de interacţiune între aparat şi măsura cât mai mică (fig. III.2.78), un convertor analog-numeric CAN care converteşte semnalul analogic în semnal numeric, un numărător N, o memorie tampon MT care descarcă (când poarta este închisă, rezultatul măsurării se afişează, până când circuitul de comandă declaşează o nouă măsurare) pe decodificatorul D şi un sistem de afişare a rezultatului măsurării *A*.

În cazul tensiunilor alternative se montează un redresor (fig. III.2.79).

La ampermetre se utilizează schema de la măsurarea tensiunii U_x utilizând o rezistenţă etalon R_e (fig. III.2.80).

$$U_x = R_e I_x = k I_x \qquad (2.7.22)$$

$$I_x \frac{U_x}{k} = K U_x \qquad (2.7.23)$$

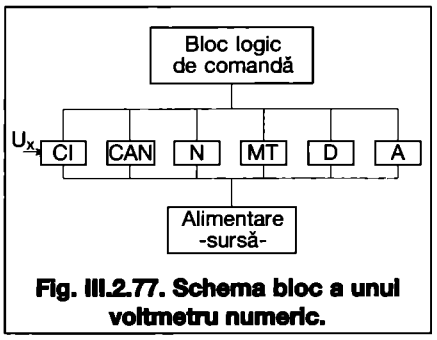


Fig. III.2.77. Schema bloc a unui voltmetru numeric.

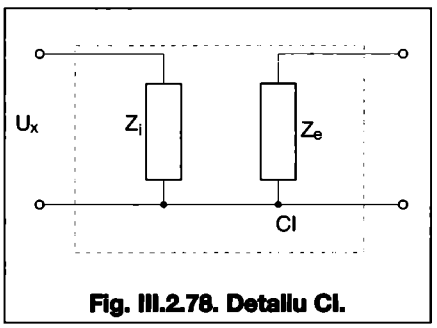


Fig. III.2.78. Detaliu CI.

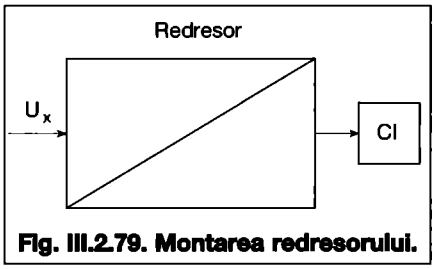


Fig. III.2.79. Montarea redresorului.

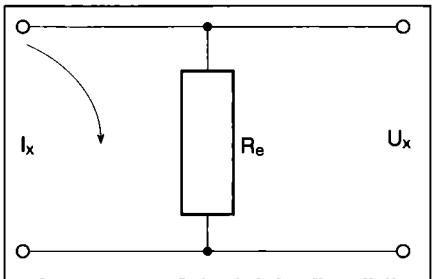


Fig. III.2.80. Principiul măsurării intensităţii curentului electric.

2.7.3. Puntea automată cu afişare numerică

Schema de principiu este dată în fig. III.2.81.

Tensiunea de dezechilibru, sesizată de detectorul nul DN, comandă prin intermediul blocului logic BL rezistenţa etalon R_e astfel încât tensiunea de dezechilibru să fie adusă la minimum. Rezistenţa etalon este alcătuită din rezistenţe comutabile (fig. III.2.82). Comutatoarele K sunt CBB, comandate de ieşirile BL şi DN.

În BL există un generator de tact. La fiecare impuls al generatorului de tact, se introduce în circuit câte o secţiune a R_e, începând cu cea mai mare, corespunzătoare unităţii celei mai semnificative a numărătorului. După sensul şi valoarea tensiunii de dezechilibru care apare în diagonala detectoare, această rezistenţă este scoasă sau lăsată în circuit, valoarea ei în acest ultim caz combinându-se cu aceea a rezistenţei imediat următoare care este introdusă la tactul următor. Prin etape succesive sunt încercate diferite combinaţii de rezistenţe, până ce puntea este echilibrată. Numărul afişat corespunde valorilor rezistenţelor care au rămas în circuit.

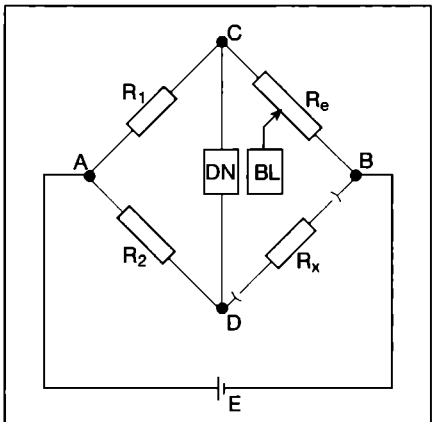


Fig. III.2.81. Puntea automată cu afişare numerică.

2.7.4. Frecvenţmetre şi cronometre

Se bazează pe numărarea perioadelor semnalului de frecvenţă necunoscută f_x care are loc într-o secundă (fig. III.2.83).

2.7.5. Fazmetru numeric

Se pune problema măsurării defazajului φ între două tensiuni U_1 şi U_2 ce au aceeaşi frecvenţă (fig.III.2.84).

În fig. III.2.85 este dată schema bloc a unui fazmetru numeric, iar în fig. III.2.86 diagramele de semnal corespunzătoare.

Elementele componente sunt: oscilatorul etalon OE, circuitul formator CF; circuitele poartă P1, P2, P4 → ŞI; circuitul poartă P3 → SAU-EXCLUSIV; numărătoarele N1, N2; circuitul start-stop (furnizează un impuls-start - la începutul măsurării, având ca origină începutul creşterii U_2 şi un impuls - stop - la sfârşitul semiperioadei pozitive a

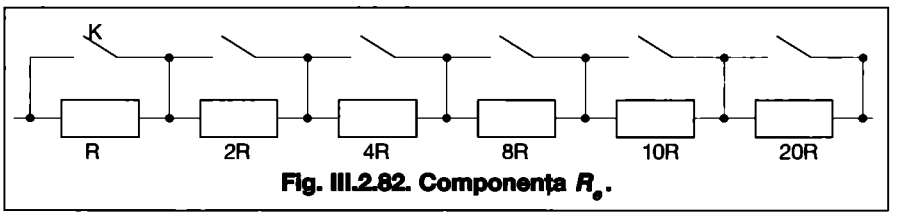


Fig. III.2.82. Componenţa R_e.

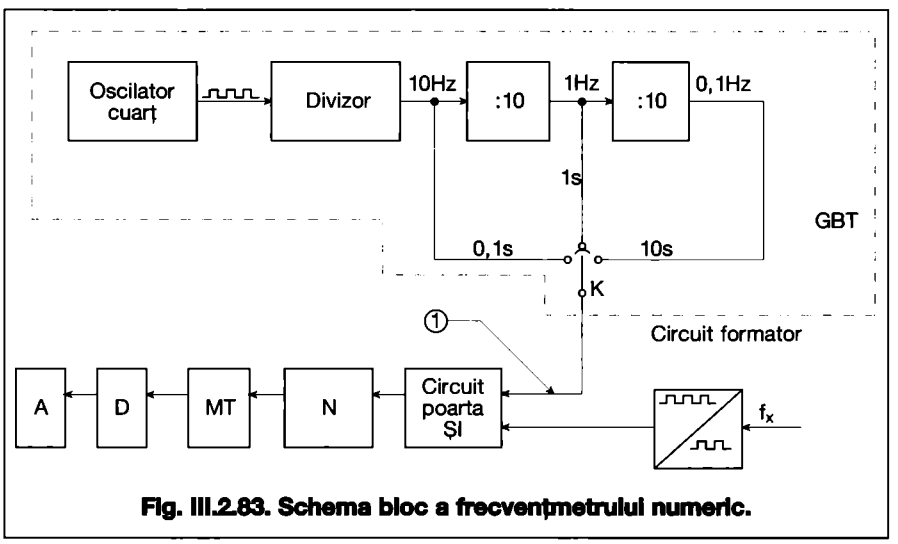


Fig. III.2.83. Schema bloc a frecvenţmetrului numeric.

U_2) circuitul memorie tampon MT, decodificatorul D și sistemul de afișare A.

Din fig. III.2.85 și III.2.86 rezultă funcționarea fazmetrului numeric.

Aparatele de măsurat numerice sunt produse la noi în țară de IAEM și IEMI.

Astfel la IAEM sunt produse aparate numerice pentru tensiune sau curent continuu, contorul de energie de curent continuu, contor electronic pentru energie electrică activă, frecvențmetrele numerice, ceasuri electronice etc.

În fig. III.2.87 sunt prezentate multimetre produse de diferite firme, iar în fig. III.2.88 și III.2.89 un clește ampermetric și un clește multimetru numeric.

Caracteristicile tehnice ale multimetrului 38022 produs de firma DAVIS INSTRUMENTS:

- tensiuni c.c 200 mV la 1000 V (5 domenii)) c.a. 2 V la 750 V (4 domenii);
- intensitate c.c. 2 mA la 10 A (4 domenii) c.a. 2 mA la 10 V (4 domenii);
- rezistență de la 200 Ω la 20 MΩ.

Osciloscoape numerice rapide sunt realizate de firma BIOMATION - Franța și PHILIPS - Olanda.

Concernul SCHLUMBERGER INDUSTRIES produce contoare electronice care măsoară energia activă și reactivă în ambele sensuri și mai multe tarife. Cele mai utilizate funcții ale unui asemenea contor sunt: calculul puterii active și reactive; calculul energiei aparente; calculul puterilor medii și

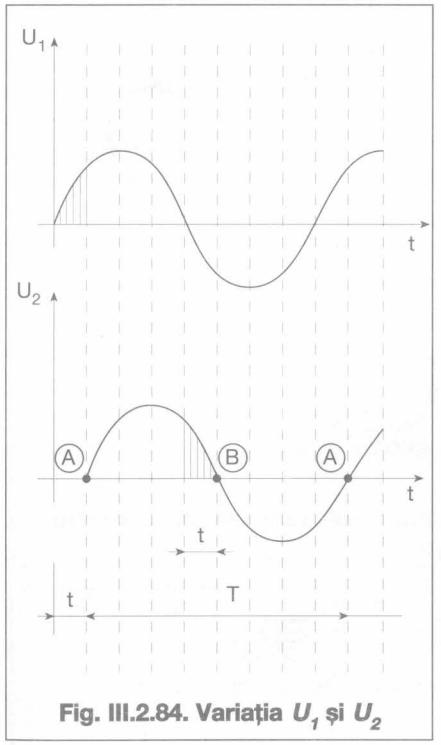


Fig. III.2.84. Variația U_1 și U_2

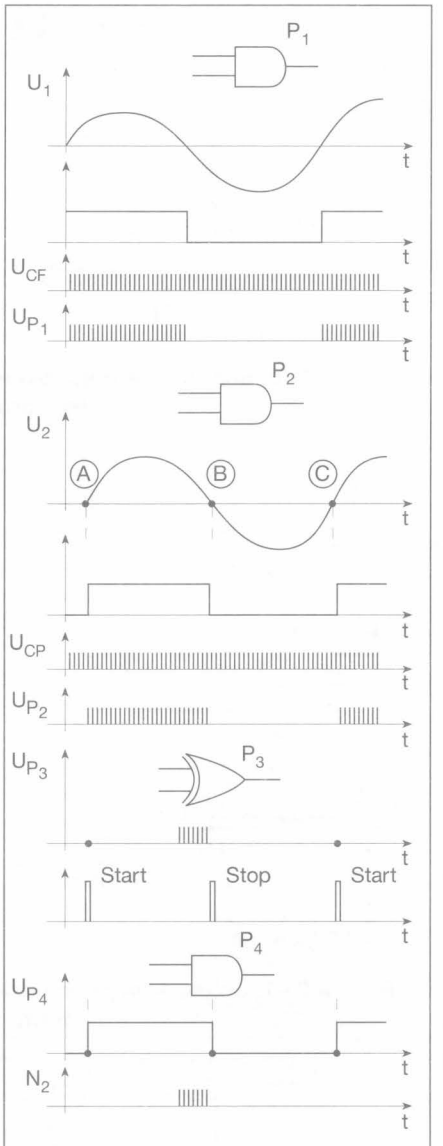


Fig. III.2.86. Diagrame de semnal.

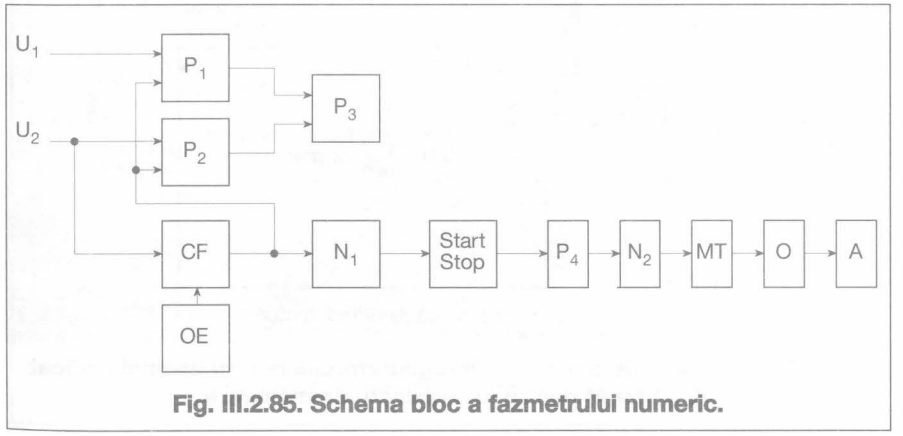


Fig. III.2.85. Schema bloc a fazmetrului numeric.



Fig. III.2.87. Tipuri de multimetre.



Fig. III.2.88. Clește ampermetric numeric.



Fig. III.2.89. Clește multimetric numeric.

compararea cu puterile limită programate; gestiunea depăşirilor de putere medii detectate de funcţia indicatorului de putere maximă; calendare complexe de tarife aplicate asupra energiilor şi puterilor medii; determinarea energiilor cu diferite tarife precum şi durata de funcţionare în aceste tarife; generarea curbelor de sarcină pentru diverse energii măsurate şi înregistrate; gestiunea energiilor şi a puterilor maxime cu intenţia de a limita puterea medie. Afişarea este realizată cu cristale lichide. Datele memorate pot fi afişate prin apăsarea unor butoane sau pot fi afişate automat într-o anumită secvenţă programată. Interfaţa de comunicaţie cea mai utilizată este cu radiaţii infraroşii (standardizate prin documentul CEI 1107). Aceasta permite programarea şi citirea contoarelor prin intercalarea unui senzor optic.

Are dezavantajul că nu permite comunicarea la distanţă. Pentru programarea şi citirea la distanţă se utilizează interfeţe seriale RS 232 cu modemuri şi prin intermediul reţelei telefonice. Acest mod de comunicaţie permite citirea datelor de la contor, fără deplasarea cititorului de contoare la locul de montare a contorului (detalii în § 2.8).

2.8. Aparate înregistratoare

Aparatele înregistratoare (numite pe scurt înregistratoare) au scopul de a ridica automat diagrama variaţiei unui parametru sau a mai multor parametri independenţi şi caracteristicile proceselor ce se determină în funcţie de timp. Aceste diagrame permit urmărirea evoluţiei proceselor.

În general, înregistratoarele sunt prevăzute cu funcţia de indicare a valorii parametrului respectiv, ele permiţând astfel controlul pe parcurs al procesului.

Cunoscând variaţia în timp a diferiţilor parametri caracteristici proceselor se pot face comparaţii şi lua decizii. Înregistrarea reprezintă, practic, o memorie a desfăşurării procesului.

Înregistratoarele Y-t care urmăresc variaţia parametrului în timp sunt specializate şi cu semnal unificat (su). Înregistratoarele specializate sunt de două tipuri: unele pentru semnale de tip parametric (de natura unor impedanţe) şi altele pentru tensiuni continue (de la traductoare generatoare). Înregistratoarele cu su sunt pentru curent de 8...10 sau 4...20 mA c.c.

În fig. III.2.90 este arătată schema de principiu a unui înregistrator specializat Y-t pentru traductoare de timp parametric. În cazul prezentat, traductorul este o termorezistenţă.

Elementele componente sunt: puntea cu rezistenţele R_1, R_2, R_3 (de calibrare), potenţiometrul cu fir calibrat R_e şi traductorul T_r alimentate cu tensiunea alternativă U; transformatorul de tensiune T_R; amplificatorul de tensiune; amplificatorul sensibil la fază; bobina L_1; circuitul format din bobina L_2 şi condensatorul C alimentate cu tensiunea U; motorul electric bifazat reversibil Mb; reductorul de turaţie r_1; sistemul de indicare realizat de un sistem cinematic cu trei scripeţi şi o curea de transmisie cu un ac indicator ce se de-

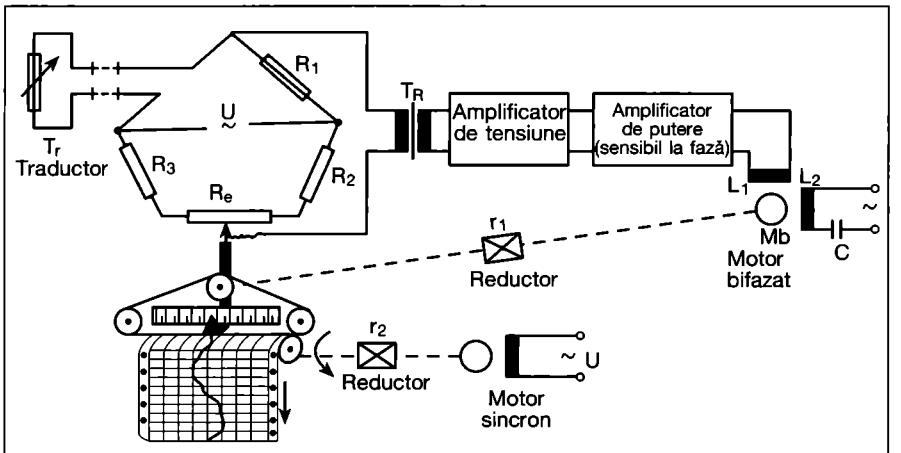


Fig. III.2.90. Schema de principiu a înregistratorului specializat pentru termorezistenţe.

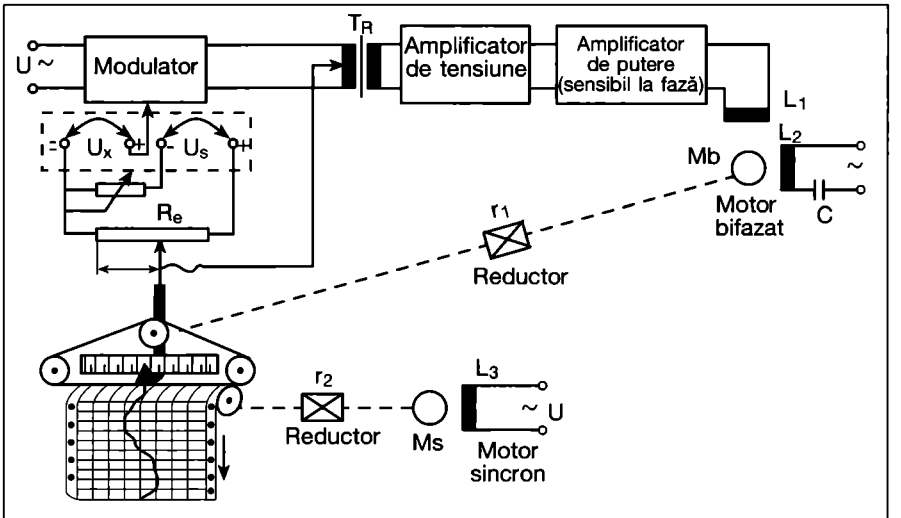


Fig. III. 2.91. Schema de principiu a înregistratorului specializat pentru termocupluri.

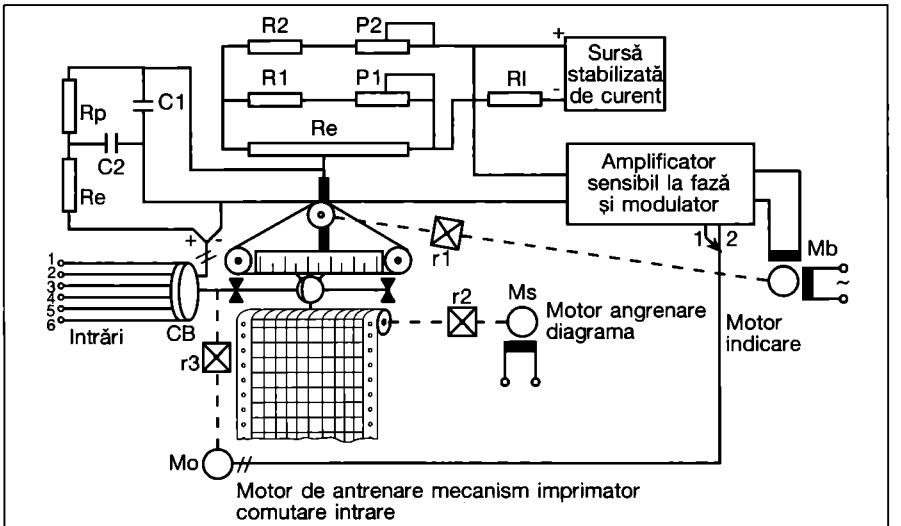


Fig. III.2.92. Schema de principiu a înregistratorului pentru semnal unificat (2...10 mA) pentru şase puncte de măsurare.

plasează în fața unei scări gradate. sistemul de înregistrare care are o peniță solidară cu acul indicator care se deplasează odată cu aceasta, lăsând o urmă orizontală pe imprimantă (Y); sistemul de deplasare a hârtiei (imprimantă care este montată pe un cilindru) alcătuit dintr-un micromotor sincron M_s și un reductor de turație r_2.

Rezistențele de calibrare R_1, R_2, R_3 au rolul de a „aduce în bandă" înregistratorul astfel încât valorile minimă și maximă date de traductor să corespundă cu începutul și sfârșitul scării pe care se efectuează indicarea.

Modul de funcționare. Dacă puntea este echilibrată, tensiunea din diagonala punții este zero și întregul sistem rămâne pe poziție, deci acul indicator rămâne pe poziția inițială. Dacă valoarea măsurată de traductorul Tr crește (rezistența electrică crește), atunci apare o tensiune de dezechilibru în diagonala punții care este aplicată transformatorului de tensiune, amplificată de amplificatorul de tensiune și aplicată amplificatorului sensibil la fază. La ieșire din amplificatorul sensibil la fază se obține un curent ce trece prin bobina L_1. Sensul curentului prin L_1 face ca împreună cu sensul curentului ce parcurge L_2 (care este constant) să producă o rotire a motorului electric bifazat în sensul acelor de ceasornic. Turația este redusă de reductorul de turație r_1 care comandă sistemul cinematic cu scripeți și curea de transmisie care deplasează acul indicator spre dreapta. Concomitent cu deplasarea acului indicator se modifică R_e. Deplasarea acului indicator se oprește în momentul când tensiunea de dezechilibru este zero, respectiv, când valoarea indicată de acul indicator pe scara gradată este egală cu cea măsurată de Tr. Concomitent cu deplasarea acului indicator se deplasează și peniță pe imprimantă. Cum imprimanta este rotită de Ms prin intermediul r_2 urma peniței pe imprimantă arată variația Y-t.

Dacă valoarea măsurată de Tr scade, atunci tensiunea de dezechilibru din diagonala punții scade și pe bobina L_1 se aplică, prin intermediul amplificatorului de tensiune și al amplificatorului sensibil la fază, un curent de sens invers față de situația anterioară. Ca urmare motorul electric bifazat reversibil Mb se rotește în sens contrar și prin sistemul cinematic al scripeților și, curelei de transmisie, se efectuează deplasarea acului indicator spre stânga, până când tensiunea de dezechilibru din diagonala punții se anulează.

În fig. III.2.91 este arătată schema de principiu a unui înregistrator specializar Y-t pentru traductoare de tip generator. În cazul prezentat, traductorul este un termocuplu. La ieșirea din traductor se obține o tensiune ce trebuie măsurată și înregistrată. Comparația dintre valoarea măsurată U_x și cea indicată cu ajutorul potențiometrului cu fir calibrat se efectuează, la acest înregistrator, pe principiul opoziției. Elementele componente noi care apar la acest înregistrator sunt rezistența variabilă de calibrare R_c și sursa de curent continuu stabilizată U_s. La ieșirea din comparator rezultă tensiunea de dezechilibru U_1 care este transformată prin intermediul modulatorului, în tensiunea alternativă, aplicată transformatorului, amplificată prin intermediul amplificatorului de tensiune și al amplificatorului sensibil de fază, devenind o tensiune de comandă a motorului electric bifazat reversibil M_b care acționează prin intermediul reductorului r_1 asupra circuitului potențiometric.

Deplasarea mecanică a cursorului potențiometrului are loc până când tensiunea de dezechilibru (tensiunea de eroare) se anulează ceea ce înseamnă că s-a realizat egalitatea $U_x = U_E$, cursorul indicând totodată valoarea tensiunii U_x. Acesta este momentul de echilibru în care are loc automat imobilizarea M_b. Orice variație a tensiunii U_x conduce la acționarea M_b într-un sens sau altul, în sensul compensării tensiunii de măsurat, procesul de reechilibrare a montajului reîncepând. În tot acest timp imprimanta (banda de hârtie) se deplasează, fiind acționată de micromotorul sincron M_s prin intermediul reductorului r_2, astfel că variația tensiunii U_x se înregistrează prin intermediul peniței fixată de indicator și cursorul potențiometrului.

În fig. III.2.92 este arătată schema de principiu a unui înregistrator cu semnal unificat pentru șase puncte de măsură. Aceste înregistratoare sunt utilizate, în special, în instalațiile de automatizare electronice ce funcționează cu semnal unificat. Ele se montează în serie cu elementele de automatizare, deoarece semnalul unificat este un curent. Modul lor de funcționare este asemănător cu cel al înregistratoarelor Y-t pentru traductoare de tip generator. Există, în plus, un circuit care convertește curentul [mA] în tensiune [mV] și realizează totodată adaptarea cu celelalte circuite ale sistemului unificat respectiv.

Circuitul de intrare conține sursa stabilizată de curent ce alimentează potențiometrul cu fir calibrat R_e. Pe același circuit se află și rezistențele reglabile P_1 și P_2 cu ajutorul cărora se aduce în bandă înregistratorul. Semnalul de intrare este cules prin intermediul cutiei cu borne C.B. și introdus în amplificator prin circuitul serie format din: borna de intrare a semnalului de măsurat (+), R_E, R_P cursorul potențiometrului cu fir calibrat R_e, R_2, P_2 și borna (+) a sursei stabilizate de curent, prin borna (-) a sursei stabilizate de curent R_L închizându-se circuitul potențiometrului R_e. Diferența dintre cele două semnale respectiv dintre semnalul de la intrare și cel de la sursa stabilizată de curent este aplicată amplificatorului sensibil de fază și modulatorului, care are o func-

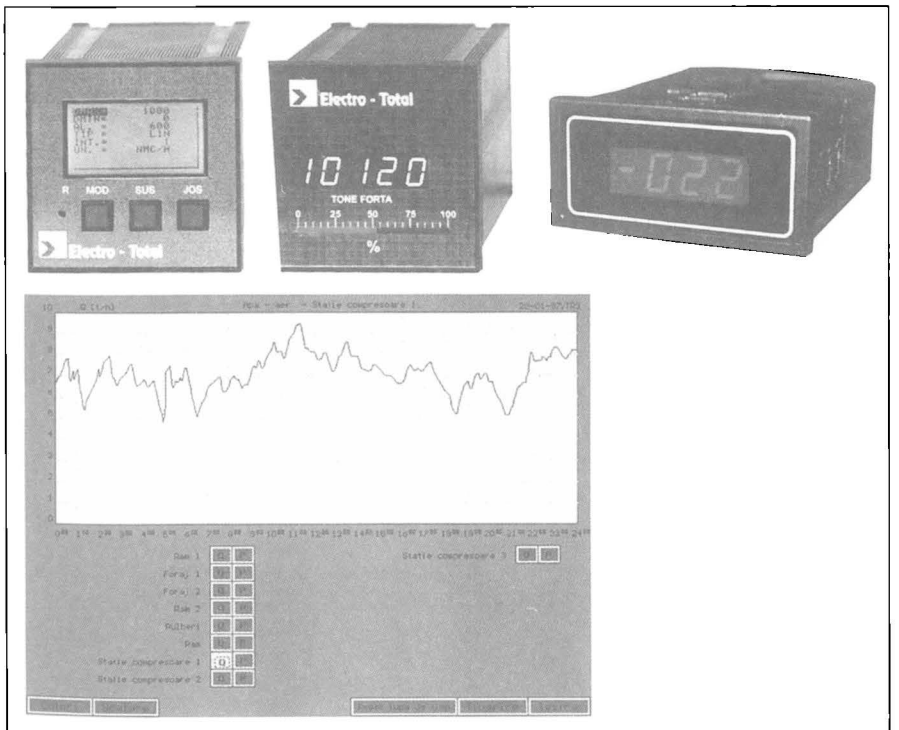


Fig. III.2.93. Înregistratoare fără hârtie.

ționare identică cu cea din fig. III.2.91. Echilibrarea se realizează la coincidența celor doi curenți comparați.

Tot în acest moment este trimis un impuls motorului Mp. Se tipărește un punct pe diagramă corespunzător curentului i_x măsurat și se comută prin intermediul cutiei de borne C.B. punctul următor de măsură astfel încât ciclul se reia printr-o nouă măsurare. Curbele evoluției procesului se obțin prin puncte, în șase culori diferite.

În fig. III.2.93 sunt prezentate miniînregistratoare fără hârtie, produse de firma ELECTRO TOTAL România:

- precizie măsurată 0,2%
- 1-2 canale 4-20 mA sau 2-10 mA
- afișare grafică, tabelară, bargraf
- dimensiune 96x48
- funcții matematice auxiliare
- memorie 64 k
- pachet de programe pentru prelucrări pe calculator PC
- precizie măsură 0,3 %
- 3 1/2 digiți sau 4 digiți (-1999...1999)
- intrare 4-20 mA; 2-10 mA; 0-10 V
- 96x48 sau 48x48
- display roșu sau verde
- bargraf opțional ce îmbină precizia citirii digitale cu indicația analogică ușor de urmărit.

III. Măsurări

Capitolul 3

Măsurarea mărimilor neelectrice

3.1. Măsurarea mărimilor mecanice

3.1.1. Măsurarea maselor şi forţelor

Mijloacele de măsurat forţe se numesc dinamometre şi se împart în două grupe: mecanice şi electromecanice.

Dinamometrele mecanice funcţionează pe principiul măsurării deformaţiei unui element elastic sub acţiunea unei forţe sau a presiunii datorate circuitului hidraulic.

Dinamometrele electromecanice funcţionează pe baza traductoarelor.

a. Traductoare de tip tensorezistiv

Măsurarea forţelor se realizează prin măsurarea alungirii relative, care reprezintă deformaţia produsă de forţa ce acţionează pe unitatea de suprafaţă la un solid:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

unde:

ε - este deformaţia;

σ - efortul unitar;

E - modulul de elasticitate.

Conversia deformaţiei în sensul util este, în prezent, cea mai răspândită metodă de obţinere a traductoarelor de forţă, aceasta datorită posibilităţilor tehnice de valorificare relativ simplă a efectului tensometric.

După natura şi forma materialului din care sunt realizate, mărcile tensometrice se împart în:

- mărci tensometrice din conductor metalic (fig. III.3.1);
- mărci tensometrice din folii metalice;
- mărci obţinute prin depuneri metalice;
- mărci tensometrice semiconductoare.

Datorită variaţiilor relativ mici ale rezistenţei mărcii tensometrice atunci când este supusă la deformaţii, se impune utilizarea unor adaptoare.

b. Traductoare cu coardă

Cuprind elementele sensibile care valorifică proprietăţile vibratorii ale unor structuri elastice, urmărind evidenţierea unui semnal a cărui frecvenţă depinde de starea de tensiune a acestor structuri (de obicei coarde metalice).

Frecvenţa fundamentală de rezonanţă a unei coarde tensiometrice este:

$$f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{m_l}} \qquad (3.1.1)$$

unde:

L - este lungimea coardei vibrante;

T - tensiunea în coardă;

m_l - masa unităţii de lungime.

Pentru asigurarea stabilităţii în funcţionare şi a sensibilităţii maxime, traductorul trebuie să asigure, prin blocul de adaptare, menţinerea în permanenţă la rezonanţă a coardei, printr-un semnal de reacţie proporţional cu variaţia de frecvenţă. În funcţie de sistemul de excitaţie, se pot deosebi două variante constructive de bază: cu plasarea coardei în câmp magnetic constant şi cu excitare prin oscilator comandat.

c. Traductoare magnetostrictive

Folosesc elementele sensibile alcătuite din materiale care au proprietatea de a-şi schimba caracteristicile magnetice (mai exact ciclul de histerezis) sub acţiunea unei forţe. Dintre materialele de acest tip cele mai utilizate sunt nichelul pur şi aliajul permalloy. Efectul efortului asupra curbei de histerezis se prezintă în fig. III.3.2. Variaţia pantei poate fi convertită într-o variaţie de tensiune electromotoare. În fig. III.3.3 se prezintă schema de principiu a unui traductor magnetostrictiv.

d. Traductoare piezoelectrice

Utilizează elemente sensibile piezoelectrice şi se folosesc pentru măsurarea forţelor dinamice de compresie.

e. Traductoare inductive

Detectează forţe prin deformări elastice care provoacă deplasări sesizabile cu traductoarele specifice deplasărilor liniare mici sau unghiulare.

f. Traductoare capacitive

Utilizează ca elemente sensibile condensatoare la care se pot modifica următorii parametri la apariţia unei forţe: distanţa dintre armături, suprafaţa armăturilor şi permitivitatea dielectricului.

Ţinând seama de caracteristicile traductoarelor capacitive (circuite de adaptare mai pretenţioase decât cele rezistive sau inductive) se recomandă utilizarea lor doar în aplicaţiile la care forţa dinamică variază într-o bandă largă de frecvenţă sau în condiţii de lucru.

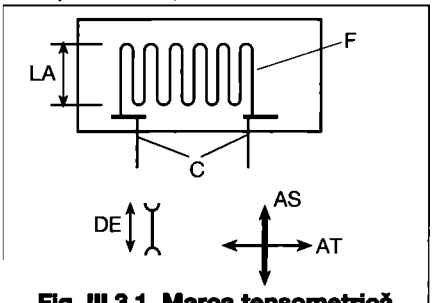


Fig. III.3.1. Marca tensometrică din conductor metalic:
LA - lungimea activă; DE - direcţia eforturilor; C - conectori; F - filament; AS - axa sensibilă; AT - axa transversală.

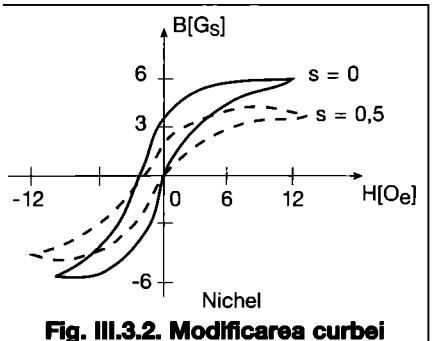


Fig. III.3.2. Modificarea curbei de histerezis a unui material magnetic sub acţiunea unei forţe.

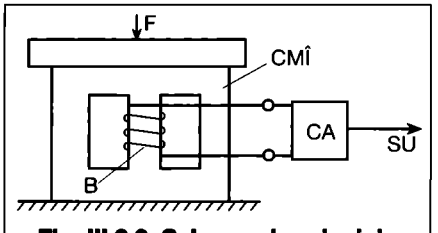


Fig. III.3.3. Schema de principiu a unui traductor magnetostrictiv:
F - forţa de măsurat; B - bobină;
CMÎ - circuit magnetic închis;
CA - circuit de adaptare;
SU - semnal unificat.

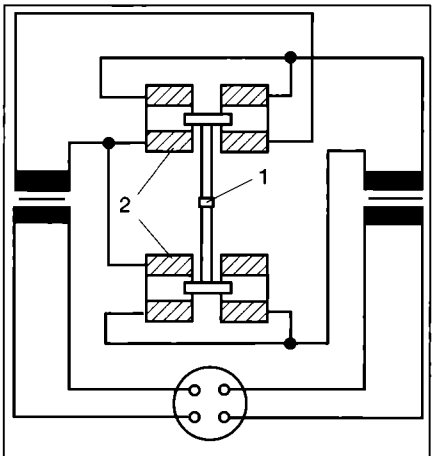


Fig. III.3.4. Schemă de măsurare cu traductor de cuplu inductiv.

3.1.2. Măsurarea cuplurilor

Pentru măsurarea cuplurilor sau momentelor, de regulă, se folosesc aceleaşi traductoare ca la măsurarea forţelor. Unul dintre cele mai utilizate este traductorul cu cuplu inductiv (fig. III.3.4).

Axul de măsurare (1) are două discuri, prevăzute cu două miezuri feromagnetice şi două bobine (2), astfel încât miezurile fixate pe un disc pătrund în bobinele pe celălalt disc şi reciproc. Un sistem adecvat de inele colectoare permite alimentarea punţii şi culegerea semnalului util. Pentru a evita erorile datorate contactelor alunecătoare, se poate folosi un sistem de cuplare magnetică.

Un alt traductor de măsurare a cuplului este şi cel cu discuri incrementate. Traductoarele de acest tip sunt astfel realizate încât să genereze un număr fix de impulsuri pentru

fiecare unitate de rotație unghiulară (increment unghiular) a discului codat. Procedeul de sesizare a incrementelor poate fi magnetic sau optic. Circuitul electronic asociat discului conține un numărător care oferă o ieșire numerică, într-un anume cod dependent de numărul de incremente generate de disc, plecând de la o anumită poziție. De asemenea, este necesar să se indice direcția de rotație, care nu mai este cuprinsă în informația oferită de numărător. Discul codat conține o rețea optică de zone active, alternate cu intersecții de aceiași lățime. Zonele active se disting de intersecții fie prin transparență, fie prin puterea de reflexie. Citirea este realizată de un cap cu o grilă de urmărire prevăzută cu ferestre în dreptul fiecărei piste. Deci, ca element sensibil al traductorului de cuplu se utilizează discuri codate de tip numeric incrementate. Se folosesc două discuri, primul, solidar cu axul supus torsiunii și care se deplasează în raport cu al doilea disc, celălalt, de referință, fix. Astfel defazajul dintre cele două discuri este proporțional cu cuplul aplicat axului.

În cazul folosirii discurilor optice, variația de cuplu este proporțională cu variația fluxului luminos captat de un receptor plasat în spatele discului de referință, în timp ce sursa luminoasă este plasată înaintea discului mobil.

3.1.3. Măsurarea vitezelor liniare

Una din metodele de măsurare a vitezei liniare are la bază efectul Doppler: între frecvența f a unei unde electromagnetice emise și frecvența f_r a undei reflectate de un corp în mișcare cu viteza v (viteza liniară cu direcția de propagare a undei) există o diferență, numită frecvență Doppler (f_d):

$$f_d = 2v\frac{1}{u} \qquad (3.1.2)$$

unde:

u - este viteza de propagare a undei

$$u = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}};$$

în care:

c - este viteza luminii;

ε_r - permitivitatea relativă a mediului de propagare;

μ_r - permiabilitatea relativă a mediului de propagare).

În cazul în care viteza v nu este coliniară cu direcția de propagare a undei, atunci, relația 3.1.2 devine:

$$f_d = 2 \cdot v \cdot \frac{f}{u} \cos\alpha \qquad (3.1.3)$$

Pe acest principiu funcționează instalații care se folosesc în navigație, la studiul capsulelor zburătoare, la controlul circulației feroviare sau la supravegherea circulației rutiere. Pentru măsurarea vitezei autovehiculelor în traficul rutier, unda electromagnetică este centimetrică (frecvența de 10 GHz, lungimea de undă 3 cm), iar semnalele sunt emise sub forma unor impulsuri scurte, la intervale de 0,2 secunde (timpul fiind suficient și recepționării undei reflectate). La viteza de circulație de 15...150 Km/h frecvența Doppler variază între 300 și 3000 Hz.

Diferența de frecvență este măsurată cu precizie și poate fi ușor prelucrată, amplificată și convertită în unități de viteză.

3.1.4. Măsurarea vitezelor unghiulare

Traductoarele pentru măsurarea vitezelor unghiulare sunt foarte diverse:

- tahogeneratoare de curent continuu;
- tahogeneratoare de curent alternativ;
- traductor de turație cu reluctanță variabilă;
- traductor de turație cu elemente fotoelectrice;
- traductor de turație cu elemente sensibile inductive;
- traductor de turație cu elemente sensibile, magnetice etc.

În cele ce urmează este prezentat traductorul de turație cu elemente fotoelectrice.

După felul cum se obține variația de flux luminos, poate fi:

- cu întreruperea fluxului luminos (fig. III.3.5)
- cu reflexia fluxului luminos (fig. III.3.6)

Impulsurile luminoase furnizate de orificii sau repere reflectorizante ajung pe elementul fotoelectric, sunt convertite cu ajutorul unor circuite electronice în impulsuri de natura unei tensiuni electrice, a căror frecvență este egală cu viteza de rotație multiplicată cu numărul de orificii sau repere. Toate elementele menționate, inclusiv circuitele electronice sunt capsulate pentru ca funcționarea să nu fie perturbată de lumina mediului ambiant sau de zgomote de natură electromagnetică.

Domeniul de utilizare a elementelor sensibile de tip fotoelectric este foarte larg, de la 1 până la 10^7 rot/min în cazul traductoarelor cu un reper, iar la turații și mai mici în cazul traductoarelor cu mai multe repere.

Elementele sensibile se pot cupla atât la adaptoare analogice cât și la cele numerice.

3.2. Măsurarea mărimilor hidraulice

3.2.1. Măsurarea presiunii

Se face, în general, prin măsurarea unei forțe produsă de presiune asupra unei suprafețe. În aceste condiții se măsoară întotdeauna presiunea relativă față de mediul ambiant. Din acest motiv trebuie acordată o mare atenție originii de măsurare luată în considerare. Unitatea de măsură pentru presiune [bar] se referă la o presiune absolută.

Pe lângă aparatele de măsurare a presiunii de tipul cu coloană de lichid, cu membrană sau cu tub deformabil se utilizează și manometrul cu cristal piezoelectric.

Manometru cu cristal piezoelectric

Utilizat, în special, în instalații de laborator, acest tip de manometru se bazează pe efectul piezoelectric adică: dacă se aplică o tensiune pe două din fețele cristalului, pe celelalte două fețe perpendiculare se obține o tensiune riguros proporționată cu presiunea.

Viteza de răspuns este foarte mare deoarece deformarea cristalului este extrem de mică. Se pot măsura presiuni foarte ridicate și mai ales presiuni variabile rapid în timp.

3.2.2. Măsurarea nivelului

Aparatele se folosesc pentru trei cazuri tehnice curente în exploatare a rezervoarelor de lichide semnalizând:

- atingerea unui anumit nivel,

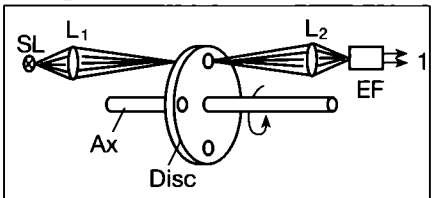


Fig. III.3.5. Traductorul de turație cu elemente fotoelectrice cu întreruperea fluxului luminos:
SL - sursă de radiații luminoase;
EF - element fotoelectric.

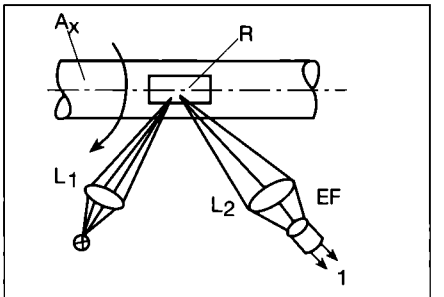


Fig. III.3.6. Traductorul de turație cu elemente fotoelectrice cu reflexia fluxului luminos:
R - element reflectorizant;
EF - element fotoelectric.

- două poziții: minimum și maximum,
- mai multe niveluri, de exemplu 5 niveluri: normal, minim, minim de avarie, maxim, maxim de avarie.

De asemenea, se utilizează aparate pentru măsurarea continuă a nivelului între minimum și maximum.

Ca exemplificare pentru primul caz se prezintă în fig. III.3.7 a un senzor capacitiv de nivel fabricat de IRTD-PAȘCANI. Principiul de funcționare este acela al modificării constantei dielectrice între două plăci, care constituie armăturile unui condensator, în momentul când între armături apare fluidul măsurat care are o constantă dielectrică diferită de a aerului.

Avantajul aparatului este acela că nu se pune o condiție pentru rezistivitatea fluidului de măsurat.

Pentru semnalizarea a două poziții, minimum și maximum, în cazul fluidelor care au o rezistivitate minimă de 400 kΩ/cm, nivelul se poate sesiza prin modificarea rezistenței electrice între un electrod de referință și electrozii de semnalizare aflați la cotele de minimum și maximum ale nivelului. Electrodul de referință poate fi recipientul de lichid, dacă este confecționat din material conductor electric, sau o tije de oțel inoxidabil care ajunge până la nivelul minim. Tensiunea maximă în circuitul electrozilor este de 5 V. Circuitele electronice de măsurare a rezistenței și de amplificare comandă un releu folosit la semnalizare luminoasă sau la comanda utilajelor de umplere.

Ca exemplificare, se prezintă în fig. III.3.7 b un semnalizator de nivel cu electrozi produs de AMCO-OTOPENI. Electrozii pot fi poziționați cu ajutorul unor scripeți.

Pentru semnalizarea anumitor cote ale lichidului, importante din punct de vedere tehnologic, dintr-un recipient deschis sau sub presiune, se poate utiliza un sistem cu acționare magnetică asupra unor contacte deschise tip REED (fig. III.3.7 c). Contactele sunt închise prin intermediul acțiunii unui magnet permanent situat în interiorul plutitorului sferic care urmărește nivelul lichidului. Imediat ce plutitorul nu se mai găsește în dreptul contactului acesta revine la starea normal deschisă. Aparatul poate semnaliza 5 niveluri diferite.

Aparatul se montează vertical pe flanșa superioară a rezervorului.

Un produs din această clasă este aparatul SNT produs de AMCO-OTOPENI.

Pentru urmărirea continuă a nivelului se pot utiliza sisteme mecanice de sesizare a nivelului: unele sisteme sunt cu plutitor, dar au dezavantajul existenței pieselor în mișcare cu amplitudine mare; alte sisteme utilizează un imersor mai greu decât fluidul și cufundat în fluid. În acest ultim caz se măsoară modificarea greutății imersorului cu nivelul fluidului, datorită efectului Arhimede. Un astfel de aparat este ilustrat în fig. III.3.7 d și este produs de AMCO-OTOPENI. Tija imersorului, suspendată elastic în partea de sus, intră în cutia aparatului care conține traductorul mecanic de deplasare, palpatorul electronic al deplasării și circuitele electronice de afișare și transmitere la distanță a nivelului. Semnalul de ieșire este 4...20 mA cc. Materialul imersorului este oțel inoxidabil.

Domeniul de măsurare a nivelului este 300, 480 și 720 mm iar precizia măsurării este +/- 0,5%.

3.2.3. Măsurarea vitezei

Măsurarea vitezei lichidelor se efectuează, în general, prin aceleași procedee ca la măsurarea vitezei gazelor.

Filmul cald este o sondă de tip termoanemometric bazată pe principiul dependenței răcirii unui film cald în funcție de viteza de curgere a apei. Schema sondei este prezentată în fig. III.3.8.

Filmul este, în general, o folie foarte subțire de platină prinsă pe două brațe de legătură. Un curent electric de intensitate controlată încălzește filmul. În

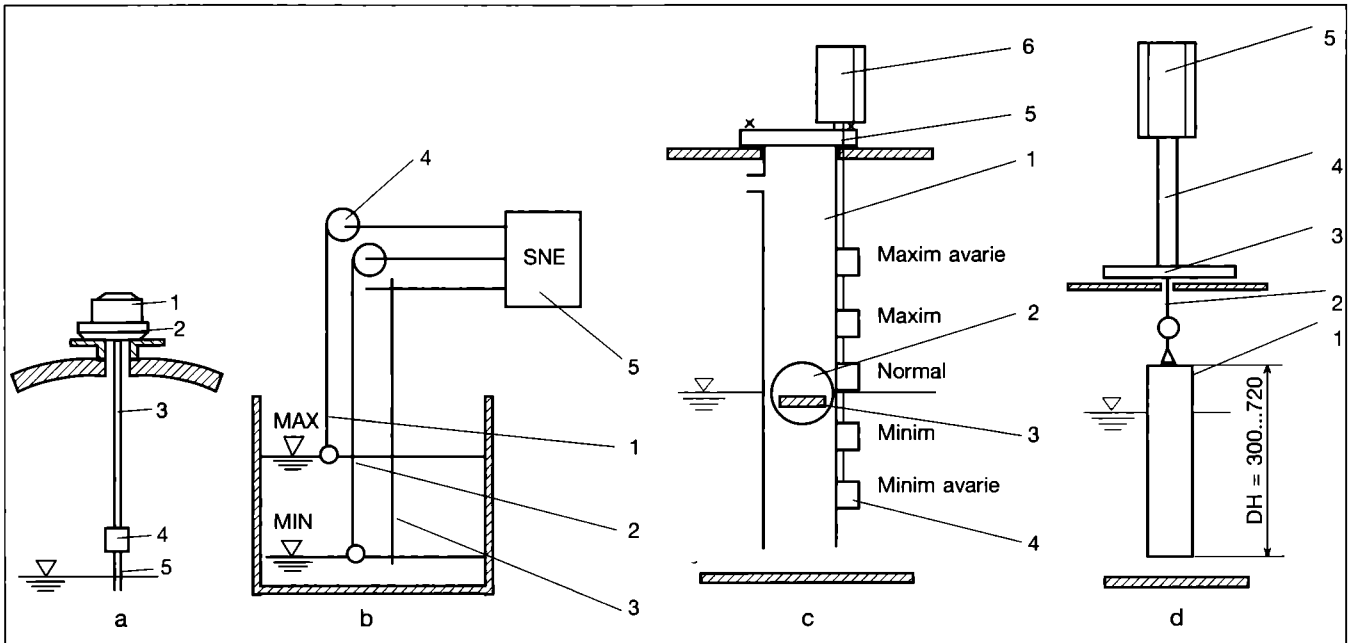


Fig. III.3.7. Aparate de măsură a nivelului:

a - sesizor capacitiv de nivel (1 nivel);

1 - blocul traductor și de comandă; 2 - flanșa de prindere; 3 - tija; 4 - corp condensator; 5 - plăci armături condensator;

b - sesizor rezistiv de nivel (2 niveluri);

1 - electrod de maxim; 2 - electrod de minim; 3 - electrod de referință; 4 - scripeți; 5 - blocul traductor și de comandă;

c - sesizor magnetic cu 5 niveluri;

1 - cilindru vas comunicant; 2 - sfera plutitoare; 3 - magnet permanent; 4 - releu de magnetizare; 5 - flanșa de etanșare; 6 - blocul traductor și de comandă.

d - traductor de nivel variabil;

1 - imersor; 2 - tija imersorului; 3 - flanșa; 4 - țeava de ghidaj; 5 - blocul traductor și de comandă.

același timp lichidul, printr-un schimb de căldură convectiv, răcește filmul, cu atât mai mult cu cât viteza lichidului este mai mare. Temperatura filmului este măsurată indirect, prin rezistența lui, deoarece rezistența filmului de platină variază cu temperatura. În continuare se face corelația între temperatura fluidului și viteza de curgere a lichidului.

Sonda se caracterizează prin inerție termică foarte mică și în consecință răspuns rapid la variații de viteză. Acest sistem de măsurare este utilizat și la determinarea intensității turbulenței într-o curgere.

Datorită fragilității sondei și aparaturii complicate de transpunere în valori electrice a mărimii măsurate, sistemul se utilizează în special în lucrări de cercetare.

Se mai pot utiliza, pentru măsurarea vitezei lichidelor, sonda Pitot-Prandtl sau sonda cu elice.

3.2.4. Măsurarea debitului

Aparatele cele mai utilizate pentru măsurarea debitului sunt:

- rotametre: pentru debite mici, conducte până la diametrul 50 mm;
- debitmetre cu diafragme de măsură;
- debitmetre cu elice;
- debitmetre cu ultrasunete.

Debitmetre cu ultrasunete

Sunt aparate care se bazează pe măsurarea efectului Doppler la o undă ultrasonică în lichidul a cărui viteză se măsoară. Se realizează în două variante: cu sonde mobile și fixe.

În varianta cu sonde fixe, utilizată de aparatură ITRD Pașcani, se intercalează în conducta cu fluidul de măsurat un tronson calibrat prevăzut cu două emițătoare piezoelectrice denumite convertoare. Convertoarele au partea activă realizată cu elemente piezoceramice încapsulate etanș în oțel inoxidabil rezistent la coroziune și abraziune. Axa comună a convertoarelor intersectează axa tronsonului sub un unghi α așa cum se prezintă în figura III.3.9a.

În fig. III.3.9 b se prezintă schema de funcționare. Fiecare convertor este și emițător și receptor de ultrasunete, funcționarea lor bazându-se pe fenomenul piezoelectric direct și invers. Cele două convertoare lucrează alternativ și complementar ca emițător și receptor, funcționarea lor fiind pilotată de adaptorul electronic.

Viteza de curgere a fluidului (V) se compune cu propagarea ultrasunetelor (c) rezultând o modificare a timpilor de propagare în sensul curgerii (t_{12}) și în sens contrar curgerii (t_{21}), dependente de viteza lichidului.

Debitul volumetric este calculat cu relația:

$$\dot{V} = K(t_{21} - t_{12}) / (t_{21} + t_{12}) \ [m^3/s] \qquad (3.2.1)$$

unde:

K - este o constantă a aparatului care înglobează parametrii de fluid, de geometrie a detectorului și de profil de viteze.

Aparatul se fabrică pentru diametre de conducte de la 50 la 800 mm pentru temperaturi ale fluidului de lucru de -25...+150°C, presiune maximă de lucru 16 bar.

Viteza ce poate fi măsurată se găsește în domeniul 0,3...6 m/s pentru diametrele 50...250 mm și 0,3...3 m/s pentru diametrele mai mari. Clasa de precizie este foarte bună (clasa 1) și prezintă și avantajul că nu produce căderi de presiune în fluidul măsurat.

O altă configurație de aparat este cu sonde mobile, care se instalează de persoana care face măsurarea, pe exteriorul conductei. Avantajul unui astfel de sistem este că se pot face măsurări, în diferite locuri, cu un singur aparat dar dezavantajul este necesitatea de a programa de fiecare dată aparatul pentru diametrul conductei care se măsoară, grosimea peretelui metalic etc.

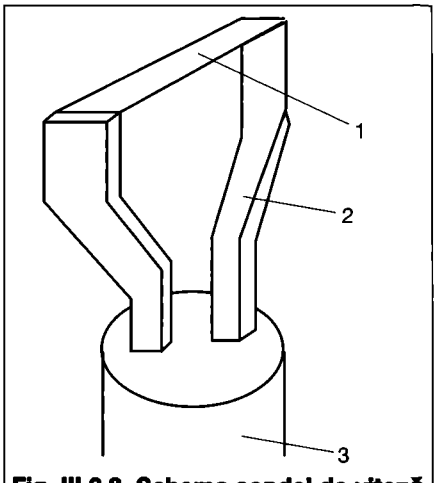


Fig. III.3.8. Schema sondei de viteză cu film cald:
1 - film cald de platină; 2 - brațe de legatură; 3 - corp sondă.

3.2.5 Detecția scurgerilor din conducte

Pentru conductele de apă și de încălzire este important ca izolația termică să fie uscată pentru a avea rezistență conductivă mare. Pentru detectarea apariției unor pori sau fisuri în conducte se folosește sistemul de detecție rezistiv.

Sistemul de supraveghere a conductelor BRANDES are următorul principiu de funcționare, care se regăsește în izolația de nii mari și la alte soluții. În izolația de material plastic spumat se înglobează două fire, CD și CI din aliaj Fe-Ni rezistent la coroziune și cu rezistivitate electrică relativ mare. Unul din fire, CD, este izolat, dar izolația are găuri la distanța de cca 1-2 cm pe toată generatoarea.

În fig. III.3.10 se prezintă modul de pozare a conductoarelor în izolația termică și principiul de măsurare.

Circuitul format de conductorul de ducere CD și de întoarcere CI permite determinarea lungimii conductei prin măsurarea rezistenței electrice în stare uscată. În cazul apariției unei scurgeri de apă, se produce un scurtcircuit. Prin măsurarea rezistenței electrice se localizează defectul (conductorul de

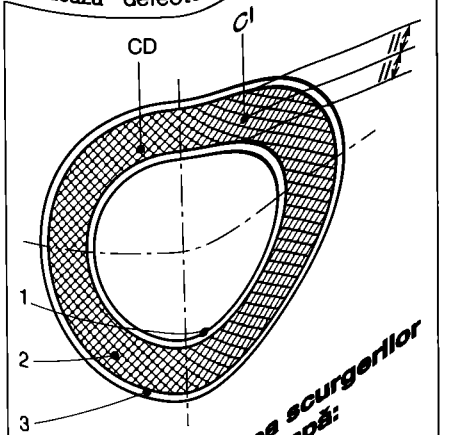


Fig. III.3.10. Măsurarea scurgerilor din conducte cu apă:
CD - conductor de detecție;
CI - conductor de întoarcere;
1 - conductă; 2 - termoizolație;
3 - protecție termoizolatoare.

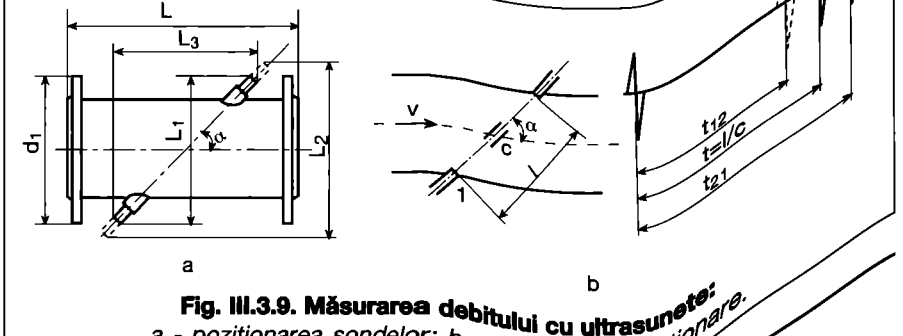


Fig. III.3.9. Măsurarea debitului cu ultrasunete:
a - poziționarea sondelor; b - schema de funcționare.

ducere). Uneori sunt ramificații, așa cum se arată în fig. III.3.11, în care caz determinarea simplă a lungimii traseului pentru calibrarea aparatului de măsură, se face prin legarea corectă (în serie) a conductoarelor CD și CI.

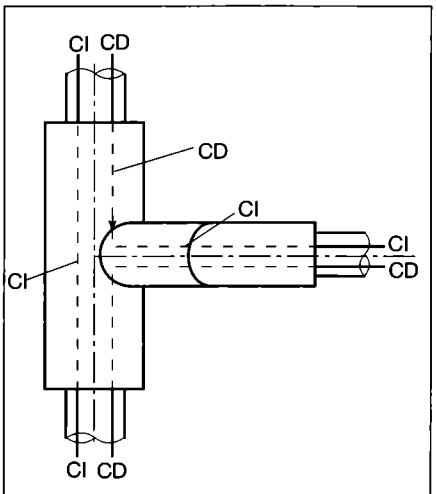


Fig. III.3.11. Măsurarea în conducte ramificate:
CD - conductor de detecție;
CI - conductor de întoarcere.

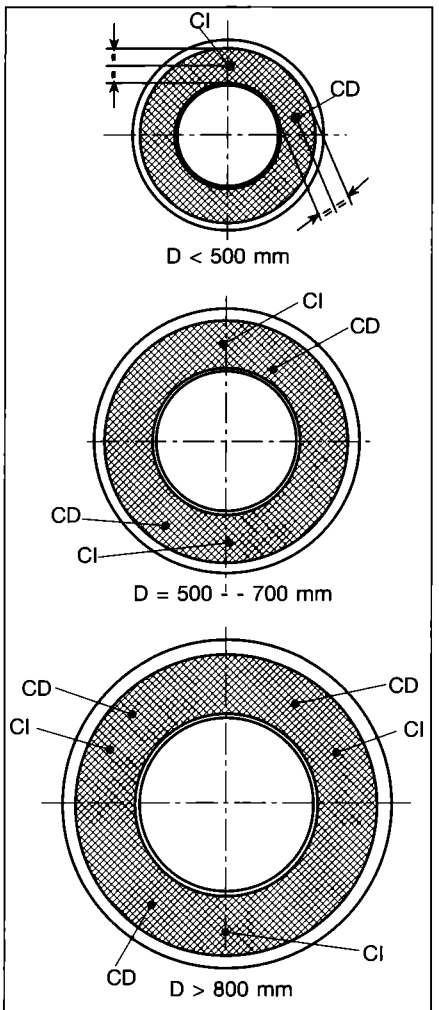


Fig. III.3.12. Montarea conductoarelor la diferite diametre de conducte:
CD - conductor de detecție;
CI - conductor de întoarcere.

Pentru conducte de diametru până la 450 mm se utilizează o singură pereche de conductoare. În domeniul de diametre 500...700 mm se folosesc două perechi, deoarece conturul țevii este mare și astfel se poate localiza mai precis defectul. Din același motiv se folosesc trei perechi de conductoare la țevile cu diametru peste 800 mm. Modul de așezare a perechilor de conductoare se prezintă în fig. III.3.12.

Sistemul are o precizie bună de măsurare pentru localizarea defectelor din conducte, ordinul de eroare fiind 1%.

3.3. Măsurarea mărimilor termotehnice

3.3.1. Măsurarea temperaturii

Aparatele de măsură utilizate în domeniul de temperatură până la 600°C sunt termocupluri Ni - NiCr sau NiCr - NiCr - NiAl cu diametrul minim de 0,5 mm în sonde cu diametrul de 8 mm.

Termocuplurile Ni - NiCr pot funcționa și până la 1000°C. Pentru temperaturi până la 1600°C se utilizează termocupluri Pt - PtRh. Temperatura în funcție de tensiunea termoelectromotoare măsurată *e* [mV], aproximată prin regresii exponențiale pentru diferite termocupluri, este:

Ni - NiCr domeniul *0...800* °C
$\theta = 20{,}636$ °C; $e = 1{,}878$ mV
Cu - Const domeniul *0...300* °C
$\theta = 27{,}242$ °C; $e = 0{,}8944$ mV
Pt - PtRh domeniul *0...300* °C
$\theta = 153{,}86$ °C; $e = 0{,}8233$ mV

Pentru măsurări de precizie ridicată se utilizează sonde rezistive cu platină. Sondele Pt100 și Pt50 au rezistențele la 0°C de 100 Ω, respectiv 50 Ω.

În domeniul de climă se poate utiliza, cu avantajul unei precizii ridicate, sonde NTC (termistoare) produse pentru domeniul *20....+70* °C sau *-20...+140* °C.

Pentru măsurarea temperaturilor în zone cu radiație preponderentă se folosește o sferă cu diametrul 150 mm al cărei înveliș este în legătură cu o rezistență de platină Pt100.

3.3.2. Măsurarea cantității de căldură

Contorizarea cantității de căldură (debitelor de căldură) se realizează cuplând un contor de debit de apă cu două măsurări de temperatură pe agentul termic la intrarea și la ieșirea din instalație.

3.3.3. Măsurarea umidității relative (UR) a aerului

Sistemul modern de măsurare cu senzor capacitiv a fost introdus în aparatura curentă de măsură după anul 1985. Simplitatea, precizia și miniaturizarea sistemului au dus la eliminarea sistemului clasic de măsurare cu termometru uscat și umed.

Senzorul este constituit dintr-o placă ceramică (fig. III.3.13). Pe acest suport se află un electrod metalic care, pentru a fi protejat la corosiune, este acoperit cu un strat de oxid foarte subțire. Stratul activ este constituit dintr-un polimer absorbant de umiditate, peste care se așează un al doilea electrod poros, permeabil la vapori de apă. Cei doi electrozi formează un condensator, iar electrolitul este masa de polimer ale cărui caracteristici dielectrice variază proporțional, practic liniar, cu umiditatea absorbită.

Pentru aplicațiile practice în măsurări climatice, sonda se completează cu un senzor de măsurare a temperaturii.

Pentru aplicații industriale (măsurări în aer comprimat) completarea este cu sonda de presiune.

3.3.4. Măsurarea vitezei aerului

Măsurarea vitezei de curgere a unui curent de aer se efectuează în funcție de domeniul de măsurare cu următoarele dispozitive:
- sfera caldă 0...5 m/s;
- sonda cu ulei, de diametru mare: 1,5...10 m/s;
- sonda cu elice, de diametru mic 5...40 m/s;
- sondă Pitot - Prandtl 20...100 m/s.

Sfera caldă este o sondă de tip termoanemometric bazată pe principiul dependenței răcirii unei sfere calde în funcție de viteza de curgere a aerului. Schema sondei este prezentată în fig. III.3.14.

Senzorul este o sferă din aluminiu conținând un termistor. Termistorul este încălzit la peste *100* °C cu ajutorul unui curent electric. Căldura este transmisă în interiorul sferei în mod simetric. Curgerea aerului împrejurul sferei provoacă o răcire a ei care face ca rezistența termistorului să crească. Un sistem de compensare controlează curentul care trece prin termistor astfel ca temperatura lui să rămână constantă. Curentul de control este folosit pentru măsurarea vitezei. Cel de al doilea termistor este folosit pentru compensarea efectului de temperatură a mediului.

Avantajele sistemului de măsurare sunt robustețea aparatului, indepen-

dența față de direcția de curgere a curentului (eroare de orientare < 1%), posibilitatea de curățire a sondei.

3.3.5. Concentrația componentelor din gazele de ardere

Aparatele moderne utilizează numai celule electrochimice de măsură, caracterizate prin dimensiuni mici, precizie ridicată și fiabilitate mare.

Principiul de măsurare a celulei este arătat în fig. III.3.15.

Principiul celulei O_2 este cel al barierei metal/aer cu difuzie limitată. Oxigenul ajunge în celulă prin difuzie, debitul fiind controlat de bariera de difuzie și este total absorbit. În consecință debitul de oxigen absorbit de celulă este proporțional cu presiunea parțială O_2 din gazele analizate, deci proporțional cu concentrația de O_2 în gaze. La catodul de aer O_2 este redus la ioni de OH, care oxidează anodul metalic cu producerea de sarcini electrice. Curentul generat este proporțional cu absorbția de O_2 (legea lui Faraday); $I = f(O_2)$.

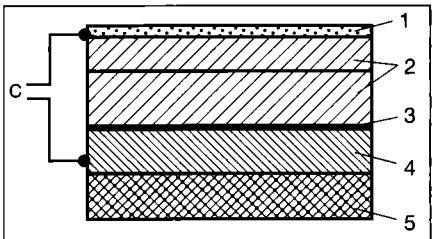


Fig. III.3.13. Măsurarea capacitivă a umidității relative:
1 - electrod poros; 2 - polimer absorbant de umiditate; 3 - film de oxid; 4 - electrod de bază; 5 - suport ceramic.

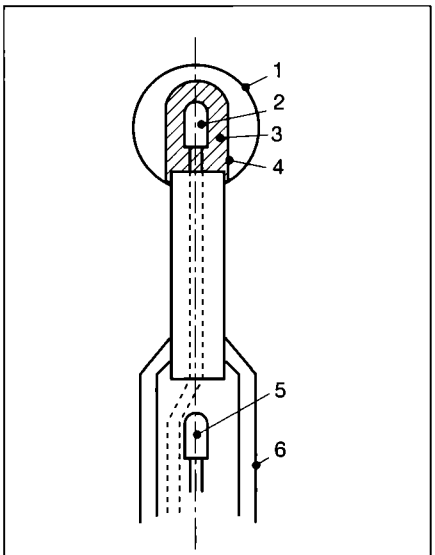


Fig. III.3.14. Sondă de viteză cu sferă caldă:
1 - sferă metalică; 2 - senzor de măsură; 3 - chit; 4 - teacă; 5 - senzor de compensare; 6 - mâner.

Semnalul de ieșire este curentul sau tensiunea măsurată pe o rezistență cunoscută.

Principiul celulei de CO este acela al bateriei cu 3 electrozi: electrodul de măsură, electrodul de referință și contraelectrodul. Ca și în celula precedentă există o barieră de difuzie. La anod este o reacție de reducere a apei prin efectul CO, cu generare de ioni de hidrogen și sarcini electrice.

La catod se reconstituie H_2O din radicalii H și O adus prin difuzie controlată din aerul ambiant, cu eliberare de sarcini electrice. Contraelectrodul are rolul de a închide circulația electrochimică prin electrolitul H_2SO_4 + H_2O. Electrodul de referință controlează funcționarea celulei având un nivel negativ mai mare decât contraelectrodul. Concentrația de CO din mediul măsurat este proporțională cu intensitatea curentului generat. Se poate, în continuare, măsura curentul sau tensiunea pe o rezistență cunoscută. În fig. III.3.16 se prezintă schema celulei.

Celelalte celule de măsură sunt asimilate cu cea de CO, cu alte reacții specifice.

3.4. Măsurarea radiațiilor nucleare

3.4.1. Detectarea radiațiilor nucleare

Detectorii de radiații nucleare se bazează pe efectele interacțiunii dintre radiație și mediul pe care îl străbat.

Detectoare care se bazează pe fenomenul de ionizare în gaz

Camera de ionizare se compune din doi electrozi între care se află un anumit gaz (aer, azot, argon) la presiunea atmosferică. Între electrozi se aplică o tensiune care poate ajunge la câteva sute de volți (fig. III.3.17). Dacă camera este așezată într-un flux de particule ionizante, galvanometrul va indica un curent de ionizare proporțional cu numărul perechilor de ioni formate. De aici rezultă că o cameră de ionizare poate fi utilizată pentru măsurarea radiației. Pentru măsurarea radiațiilor α camera trebuie să aibă o fereastră subțire pentru ca particulele ce o traversează să piardă o energie minimă. Tot pentru acest tip de radiații s-au construit camere care prevăd instalarea interioară a sursei de radiații.

Contorul Geiger-Muller (fig. III.3.18) este alcătuit dintr-un tub de sticlă în care sunt introduși doi electrozi: unul cilindric (catodul) constituit dintr-o foiță metalică lipită pe fața interioară a tubului și altul (anodul) fiind un fir de wolfram plasat pe axul cilindrului. Tubul este umplut cu un amestec de gaze la presiune scăzută.

Între electrozi se stabilește o tensiune de 10^2 - 10^3 V, ce creează un câmp

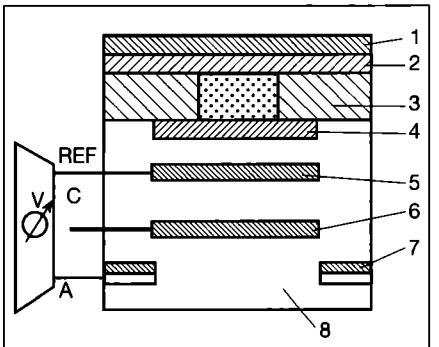


Fig. III.3.16. Celulă de măsură CO:
1 - protecție de praf; 2 - membrană selectivă; 3 - barieră de difuzie; 4 - difuzor; 5 - electrod de măsură; 6 - electrod de referință (anod); 7 - contraelectrod (catod); 8 - electrolit (H_2SO_4+H_2O).

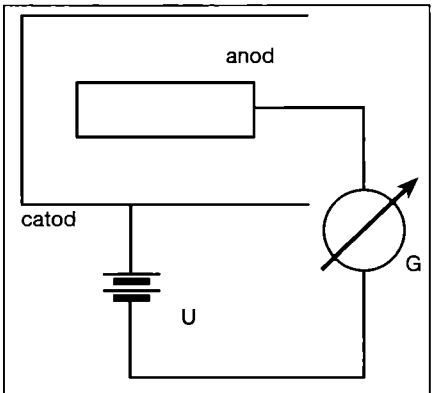


Fig. III.3.17. Cameră de ionizare.

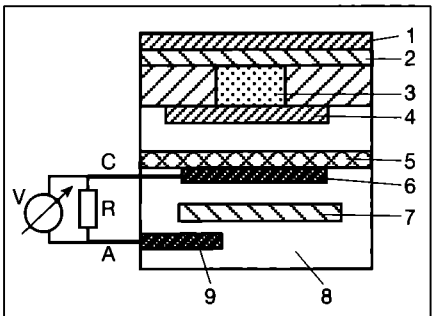


Fig. III.3.15. Celulă de măsură O_2:
1 - protecție de praf; 2 - membrană selectivă; 3 - barieră de difuzie; 4 - difuzor; 5 - membrană hidrofobă; 6 - catod; 7 - separator; 8 - electrolit (KOH); 9 - anod.

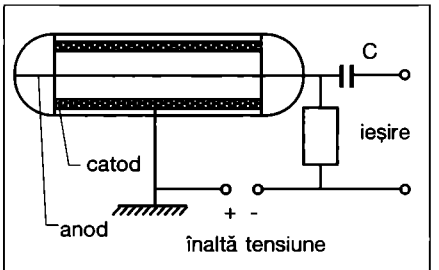


Fig. III.3.18. Contorul Geiger-Müller.

electric a cărui intensitate este foarte mare în apropierea anodului. Particula ionizată ce pătrunde în contor produce electroni liberi care sunt puternic accelerați de câmpul electric din apropierea anodului și generează mai departe o ionizare în avalanșă (descărcare de tip Townsend). Gazul de stingere (90% argon și 10% alcool) adăugat la gazul de umplere are ca scop să întrerupă această descărcare imediat după ce s-a produs. Curentul electric ce apare în timpul acestei descărcări provoacă în rezistența electrică din circuitul exterior o variație de tensiune care va fi preluată de instalația electronică și redată sub formă de puls. Datorită ionizării secundare, numărul de electroni care vin la anod nu este proporțional cu numărul de perechi de ioni formați de particula inițială. Din acest motiv astfel de contoare se folosesc numai pentru numărarea particulelor, nu și pentru determinarea energiei lor.

3.4.2. Măsurarea radiațiilor nucleare

Mijloacele de detecție a radiațiilor nucleare se folosesc într-o serie întreagă de domenii, începând cu asigurarea protecției individuale contra radiațiilor și sfârșind cu aparatura sofisticată, dedicată cercetării științifice. Principalele situații în care este necesar controlul radioactivității, sunt descrise în continuare prezentând totodată câteva modele moderne de detectori de radiații, fabricați de firma HARWELL INSTRUMENTS sunt descrise în continuare;

- dozimetre individuale cu fibre de cuarț (fig. III.3.19) ce pot măsura energii de la 10 keV;
- monitor de radiații (fig. III.3.20) pentru determinarea nivelului radioactivității din încăperile de lucru, de tratament, a vecinătăților instalațiilor nucleare etc;
- monitor de contaminare (fig. III.3.21) pentru determinarea contaminării cu substanțe alfa - active a suprafețelor plane;
- monitor de radiații cu sistem de alertare sonoră și auditivă (fig. III.3.22) pentru determinarea contaminării radioactive (alfa și beta) cu unitatea detectoare detașabilă și utilizată prin telecomandă de la o distanță de până la 100 m etc.

În unitățile nucleare și în împrejurimile acestora, în unitățile spitalicești care utilizează izotopi radioactivi sau instalații Roentgen, în întreprinderile care folosesc instalații de defectoscopie nucleară, în laboratoarele de cercetare științifică care utilizează substanțe radioactive etc. există două principale direcții de interes în ceea ce privește măsurătorile dozimetrice: aflarea dozelor individuale absorbite de personal și monitorizarea fondului de radiații prezente.

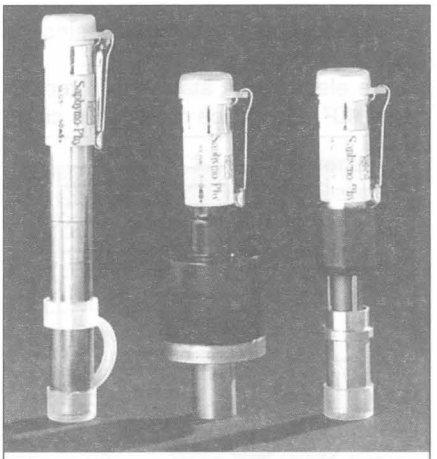


Fig. III.3.19. Dozimetrul individual SEQ.



Fig. III.3.20. Monitor de radiații.

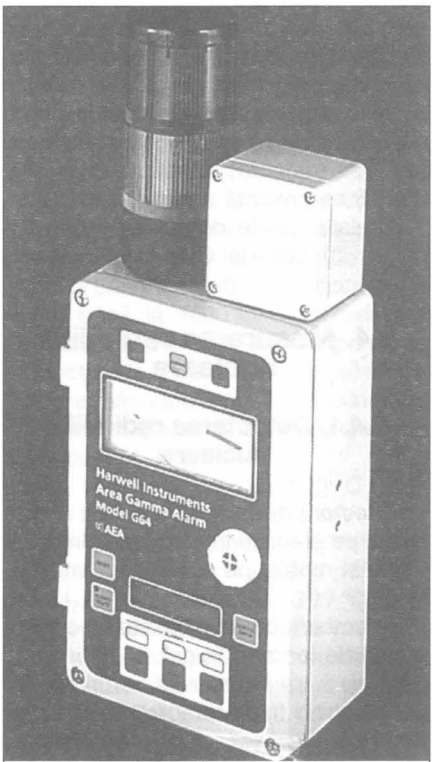


Fig. III.3.22. Monitor de radiații model Gr. 64.



Fig. III.3.21. Monitor de contaminare alfa A 92.

3.5. Măsurări în iluminat

3.5.1.Măsurări obiective

Acestea se bazează pe un element sensibil la radiația luminoasă (foto-sensibil), transformând energia luminoasă în energie electrică (emisie de electroni).

Măsurarea iluminării

Se realizează cu *luxmetru* (fig. III.3.23).

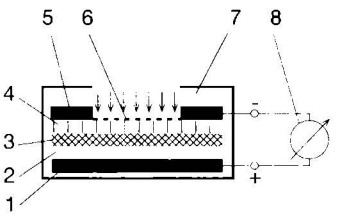


Fig. III.3.23. Principiul constructiv al luxmetrului:
1 - placă de fier; 2 - strat de seleniu; 3 - strat de baraj; 4 - peliculă din aur; 5 - inel din fier; 6 - filtru de corecție a curbei de sensibilitate spectrală a seleniului; 7 - carcasă din masă plastică; 8 - galvanometru (cu ac indicator sau digital).

Luxmetrul este compusă dintr-o celulă fotoelectrică legată la un galvanometru. Celula este formată din mai multe straturi, prezentate în fig. III.3.23.

Fluxul luminos, ajuns pe stratul de seleniu fotosensibil, este transformat într-un flux de electroni în sensul de la seleniu la aur. Stratul de baraj împiedică emisia inversă.

Intensitatea curentului rezultat este indicată de un galvanometru. Aceasta este convertită în lucşi, indicând în acest fel densitatea fluxului luminos pe suprafaţa luxmetrului - iluminarea ($E = d\Phi dS$ sau $E=\Phi/S$).

Celula fotoelectrică este prevăzută cu filtre (de regulă 1:10 şi 1:100) ce permit mărirea gamei de măsură oferită de galvanometru. Aparatul permite măsurarea iluminării într-un punct dintr-un plan, considerând suprafaţa celulei neglijabilă.

Dacă în locul galvanometrului se montează un dispozitiv înregistrator, se poate determina variaţia iluminării de-a lungul unui traseu pe care se deplasează celula fotoelectrică.

Măsurarea fluxului luminos (lumenmetru)

Măsurarea se execută numai în laborator, pentru a determina fluxul lămpilor sau al corpurilor de iluminat.

Lumenmetrul mai este denumit şi „sferă integratoare" (fig. III.3.24). Lampa sau corpul de iluminat se montează în sferă. Ecranul (4) se manevrează astfel încât pe fereastra (3) să nu ajungă radiaţiile directe. În acest fel pe fereastră ajunge numai flux reflectat de pereţii sferei (prin reflexii multiple), iluminarea acesteia fiind:

$$E = \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{\Phi}{4\pi R^2} \qquad (3.5.1)$$

unde:

ρ - este coeficientul de reflexie a suprafeţei inferioare a sferei;

R - raza sferei;

Φ - fluxul luminos emis de lampă sau corp.

Iluminarea E se măsoară cu un luxmetru, astfel că se poate determina fluxul Φ emis de sursă (lampă sau corp). Cu cât raza sferei este mai mare cu atât determinările sunt mai precise.

Măsurarea randamentului corpurilor de iluminat

Randamentul este dat de raportul $\eta = \Phi_c/\Phi_l$,

unde

Φ_c - este fluxul corpului de iluminat;

Φ_l - fluxul lămpii/lămpilor cu care este echipat.

Cele două fluxuri se determină prin măsurări cu lumenmetrul.

Măsurarea intensităţii luminoase

Se execută în laboratoarele producătorilor de corpuri de iluminat pentru a determina distribuţia intensităţii luminoase a acestora.

Pentru aceasta se utilizează un goniometru ce permite rotirea corpului de iluminat în spaţiu:

- faţă de axa verticală a corpului (unghiul α) şi
- faţă de un plan de referinţă (unghiul β).

Se măsoară iluminarea directă într-un punct fix faţă de aparat (cu un luxmetru) astfel că intensitatea luminoasă pe o direcţie dată de unghiurile α şi β se determină indirect:

$$I_{\alpha,\beta} = \frac{E_{\alpha,\beta} \cdot l^2}{\cos\theta} \qquad (3.5.2)$$

unde:

l şi θ - sunt mărimile geometrice dintre corp şi luxmetru;

$E_{\alpha,\beta}$ - iluminarea directă măsurată pentru intensitatea $I_{\alpha,\beta}$.

Precizia măsurării este cu atât mai mare cu cât componentele reflectate ale fluxului luminos, ce ar putea ajunge pe luxmetru, sunt eliminate. Incintele în care se execută măsurările se vopsesc în negru mat, astfel încât coeficientul de reflexie să fie sub 0,05.

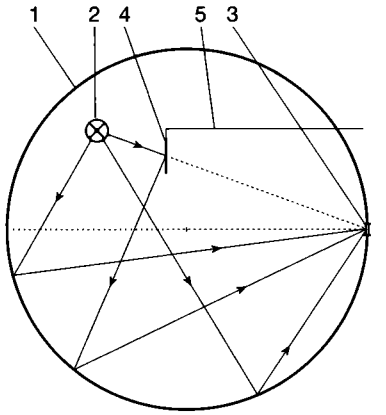


Fig. III.3.24. Lumenmetru (sfera integratoare):
1 - sferă cu raza 1...4 m, perfect difuzantă la interior; 2 - lampă sau corp de iluminat; 3 - fereastră în peretele sferei, de dimensiunea celulei fotoelectrice a luxmetrului (diametru de 4...5 cm); 4 - ecran opac; 5 - dispozitiv de deplasare a ecranului.

3.5.2. Măsurări subiective

Acestea se bazează pe faptul că ochiul uman poate aprecia cu mare precizie egalitatea a două luminanţe, care sunt privite simultan. Pe acest principiu s-a construit dispozitivul Lummer - Brodhun pentru aprecierea intensităţii luminoase (fig. III.3.25).

Prin ocularul cubului fotometric (2) din fig. III.3.25 se pot privi simultan două suprafeţe concentrice iluminate de sursele S_e şi S_m cu intensităţile I_e şi I_m. Prin deplasarea cubului, luminanţele celor două suprafeţe se modifică. Când devin egale ($L_e = L_m$) nu se mai percepe diferenţa dintre ele şi apar în ocular ca o singură suprafaţă.

Cum intensităţile I_e şi I_m sunt dirijate perpendicular pe suprafeţele din cub rezultă relaţiile:

$$\frac{I_m}{l_m^2} = \frac{I_e}{l_e^2} \quad \text{şi} \quad I_m = I_e \left(\frac{l_m}{l_e}\right)^2 \qquad (3.5.3)$$

unde:

l_m şi l_e - sunt distanţele de la sursele S_m şi S_e la cubul fotometric, citite pe rigla gradată (1).

Cum sursa S_e este o sursă etalon a cărei intensitate I_e se cunoaşte, se poate stabili, cu o aproximare ce poate ajunge până la 1%, intensitatea I_m a sursei S_m. Aproximarea de 1% se realizează atunci când:

- sursele de lumină au aceiaşi culoare;
- luminanţele L_e şi L_m sunt mai mari de 3 cd/m^2;
- observatorul ce execută măsurarea are ochii odihniţi şi a stat în întuneric cel puţin 15 s înainte de a face măsurarea.

3.6. Măsurarea pH-ului

3.6.1. Domeniul

Cu cât o soluţie este mai bogată în ioni de H^+, cu atât ea are un caracter acid mai pronunţat.

Cu cât o soluţie este mai bogată în ioni de hidroxil OH^-, cu atât ea are un caracter bazic mai pronunţat.

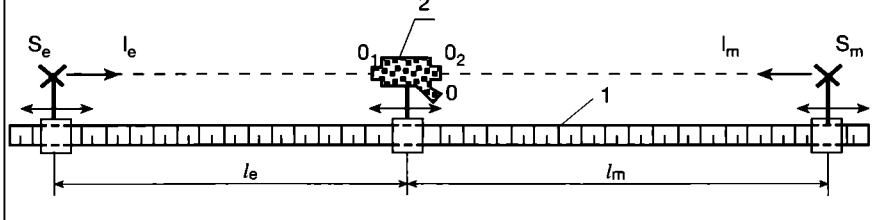


Fig. III.3.25. Schema dispozitivului Lummer Brodhun.
S_e, S_m - sursa etalon, respectiv de măsurat; I_e, I_m - intensităţile surselor S_e şi S_m; 1 - riglă gradată; 2 - cub fotometric; l_e, l_m - distanţele de la S_e şi S_m la cubul fotometric.

O soluție este neutră când concentrația ionilor de hidrogen este egală cu concentrația de hidroxil.

În orice soluție neutră și în apă pură, concentrațiile $[H^+]$ și $[OH^-]$ sunt egale cu 10^{-7} mol/l.

Dacă în apa pură sau într-o soluție neutră se dizolvă un acid, concentrația totală $[H^+]$ crește și, în mod corespunzător, concentrația $[OH^-]$ scădea.

Dacă se dizolvă o bază are loc fenomenul invers. Deci, în soluții acide concentrațiile $[H^+] > 10^{-7}$ mol/l, iar în soluțiile bazice concentrațiile $[H^+] < 10^{-7}$ mol/l.

S-a demonstrat în acest fel, de ce concentrația ionilor de hidrogen $[H^+]$ arată caracterul acid, bazic sau neutru al unei soluții și ce valori poate avea această concentrație (tab. III.3.1).

Pentru comoditate, spre a nu se lucra cu exponenți negativi, concentrația ionilor de hidrogen se exprimă cu logaritmul cu semn schimbat al aceste mărimi:

Exemplu: $-\lg [H^+] = pH$ (3.6.1)

Dacă: $(H^+) = 10^{-5}$ mol/l, pH = 5

3.6.2. Principiul de măsurare a pH-ului

Electrodul din sticlă, cel mai utilizat electrod de măsură a pH-ului, este alcătuit dintr-un cilindru din sticlă, având la partea inferioară o membrană din sticlă sensibilă la variația pH-ului, de formă semisferică. În interior se găsesc o soluție tampon cu pH cunoscut și un electrod de referință intern.

Sticla specială din care este confecționată membrana are în compoziție metale alcalino-pământoase (exemplu: sodiu sau litiu). Cationii acestor metale (Na^+ sau Li^+), sub influența moleculelor de apă, părăsesc rețeaua cristalină a sticlei, trecând în soluția de măsurat. În locurile rămase libere din rețeaua cristalină pătrund cationii H^+ existenți în soluție, care au o mobilitate foarte mare.

În acest fel, la suprafața membranei din sticlă are loc un schimb ionic, cu atât mai intens cu cât concentrația de ioni de hidrogen din soluție este mai mare: va apare, deci, un potențial de electrod, direct proporțional cu logaritmul concentrației ionilor de hidrogen, deci cu pH-ul soluției.

Pe suprafața interioară a membranei va apare un potențial de electrod, însă constant și cunoscut, deoarece pH-ul soluției tampon din interior este constant și cunoscut.

Diferența de potențial dintre soluția cercetată și soluția din interiorul membranei este proporțională cu diferența pH-urilor celor două soluții.

Pentru măsurarea acestei diferențe de potențial sunt necesari doi electrozi de referință: unul plasat în interiorul electrodului de sticlă (electrod de referință interior) și altul, plasat în soluția de măsurat (electrod de referință exterior).

Același fenomen are loc de ambele părți ale membranei din sticlă. Dar, numărul de ioni de H^+ care pătrund în rețea este diferit, în funcție de concentrația soluției. Deci apare o diferență de potențial între cele 2 suprafețe.

Variația pH-ului cu o unitate îi corespunde o variație a potențialului electrodului de măsurat de 58,1 mV (la 20 °C).

La pH = 7, e = 0
La pH = 6, e = -58,1 mV
La pH = 8, e = + 58,1 mV
La pH = 0, e = - 406,7 mV
La pH = 14, e = + 406,7 mV

Valoarea potențialului de electrod depinde nu numai de concentrația ionilor H^+, ci și de temperatura soluției (fig. III.3.26).

Electrodul de referință, interior sau exterior este format dintr-un fir de platină înconjurat de mercur în contact cu clorură de mercur (calomel). Aceste elemente sunt protejate de un tub din sticlă având la partea inferioară un dop din asbest.

În cazul electrodului de referință extern, acest tub, care constituie electrodul propriu-zis, este inclus într-un cilindru din sticlă plin cu soluție de clorură de potasiu saturată (puntea electrolitică).

3.7. Măsurări privind poluarea atmosferei

Determinarea concentrațiilor de gaze poluante ale atmosferei în zonele locuite și în zonele cu un înalt grad de periculozitate reprezintă una din cele mai importante funcțiuni ale sistemului de monitorizare a calității vieții.

3.7.1. Măsurarea concentrațiilor de gaze combustibile în atmosferă

La trecerea radiației electromagnetice de bandă largă printr-un mediu gazos are loc un fenomen de absorbție a undelor electromagnetice de o anumită lungime de undă în acest mediu. Spectrul lungimilor de undă absorbite depinde de compoziția gazului analizat.

Gazele a căror moleculă este formată din atomi diferiți (molecule heteronucleare) au proprietatea de absorbție a undelor electromagnetice aflate în domeniul infraroșu al spectrului. Acesta este cazul monoxidului de carbon CO, bioxidului de carbon CO_2, metanului CH_4, acetilenei, a altor hidrocarburi și a majorității gazelor combustibile. Domeniul lungimilor de undă a radiațiilor absorbite precum și absorbția radiației infraroșii care corespunde frecvențelor de rotație și de vibrație ale moleculei sunt specifice fiecărui gaz în parte. Spectrele de absorbție în domeniul infraroșu (IR) ale monoxidului de carbon, bioxidului de carbon și metanului sunt prezentate în figura III.3.27.

Măsurarea concentrației unui anumit gaz dintr-o mostră prin determinarea gradului de transmisie a unei radiații electromagnetice de o anumită lungime de undă pe o distanță dată în mostra respectivă este numită metoda

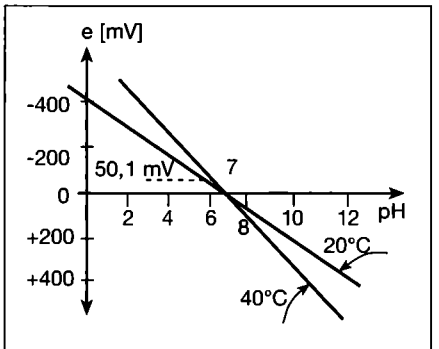


Fig. III.3.26. Caracteristica pH-ului electrodului din sticlă:
la 10 °C, Δe = 56,1 mV/pH
la 20 °C, Δe = 58,1 mV/pH
la 30 °C, Δe = 60,2 mV/pH.

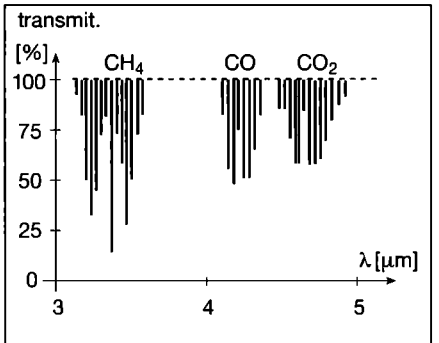


Fig. III.3.27. Spectrele de absorbție în IR a CH_4, CO și CO_2.

Tabelul III.3.1. Valorile concentrațiilor de H^+ și OH^-, în funcție de felul soluției

Tipul soluției	Valoarea concentrației de H^+ [mol/l]	Valoarea concentrației de OH^- [mol/l]
Concentrație mare de acizi	$10^0 ... 10^{-2}$	$10^{-14} ... 10^{-12}$
Concentrație mică de acizi	10^{-6}	10^{-8}
Soluție neutră	10^{-7}	10^{-7}
Concentrație mică de baze	10^{-8}	10^{-6}
Concentrație mare de baze	$10^{-14} ... 10^{-12}$	$10^0 ... 10^{-2}$

fotometriei nedispersive.

Analizoarele de gaze realizate pe baza acestei metode sunt destinate identificării unui anumit gaz (moleculă).

Metoda fotometriei nedispersive este aplicabilă în două variante:

- metoda măsurării intensității relative de absorbție;
- metoda măsurării absorbției în două benzi de lungimi de undă.

Metoda fotometriei nedispersive, în ambele variante, se bazează pe legea de absorbție a radiației electromagnetice în gaze, legea Lambert - Beer, care furnizează intensitatea radiației I_2 la ieșirea dintr-o mostră de gaz de lungime optică d, la intrarea căreia intensitatea este I_1, concentrația gazului în mostră [%] fiind c. Forma matematică a legii este dată de relația 3.7.1 și fig. III.3.28.

$$I_2 = I_1 e^{-E_\lambda \cdot c \cdot d} \quad (3.7.1)$$

$$Ab = \frac{I_1 - I_2}{I_1} \quad (3.7.2)$$

în care:

E_λ - este coeficientul de atenuare a radiației de lungime de undă λ;

c - concentrația de gaz [%];

d - lungimea cuvei de măsurare

$$Ab = 1 - e^{-E_\lambda \cdot c \cdot d} \quad (3.7.3)$$

În fig. III.3.29 este prezentată variația gradului de absorbție Ab, definit de relația 3.7.2 în funcție de produsul c·d. Se observă că, pentru un anumit gaz, o anumită lungime de undă a radiației λ și o lungime dată d a cuvei de măsurare, gradul de absorbție Ab depinde doar de concentrația c a gazului din cuvă, deci este o măsură a acesteia. Pe această observație se bazează metoda măsurării intensității relative de absorbție.

3.7.1.1 Măsurarea intensității relative de absorbție a radiației IR.

Practic, determinarea coeficientului de absorbție se realizează prin compararea intensităților de ieșire a două fascicule de raze de aceeași intensitate incidentă I_1 și aceeași lungime de undă λ, care străbat aceiași distanță d, dar parcurg medii diferite. Unul dintre medii este neabsorbant pentru respectiva lungime de undă (de regulă azot, N_2) celălalt mediu este mostra de studiat.

Mostra de măsurat se introduce în incinta de măsurare în timp ce în incinta de referință se găsește un gaz neabsorbant de radiații din domeniul infraroșu.

Cele două incinte, de dimensiuni identice, sunt străbătute de două fascicule de raze infraroșii, provenite de la aceeași sursă sau surse identice, fascicule care, la intrarea în incinte, au aceleași intensități I_1. Pentru a asigura practic, egalitatea riguroasă a intensităților celor două fascicule, aparatele de măsurare sunt prevăzute cu un dispozitiv de reglare pentru echilibrare (reglarea punctului de nul, „aducere la zero").

La ieșirea din incinta de măsurare, fasciculul corespunzător este atenuat, în zona spectrului de absorbție a gazului de măsurat, proporțional cu concentrația acestui gaz în mostră, în timp ce aceleași radiații trec neatenuate prin incinta de referință, fapt ce determină o diferență a intensităților de ieșire I_2 a celor două fascicule, în zona spectrului respectiv, proporțională cu concentrația de măsurat.

Analizoare de gaze, deosebit de performante, bazate pe acest principiu au fost realizate de firma ROSEMOUNT.

3.7.1.2 Măsurarea absorbției în două benzi de undă în IR

Determinarea concentrației de gaz poluant dintr-o mostră de gaz atmosferic, prin metoda măsurării absorbției radiațiilor în infraroșu din două benzi apropiate de lungimi de undă, constă din compararea, la ieșire, a intensităților luminoase a două fascicule de radiații IR de bandă îngustă, unul aflat în zona spectrului de absorbție a gazului de măsurat, celălalt fiind într-o zonă neabsorbantă de raze IR, care au parcurs același drum prin mostra de măsurat și au avut la intrare aceeași intensitate. Diferența între intensitățile luminoase ale celor două fascicule, determinată de senzor sub formă de diferență de tensiune electrică și preluată de sistemul electronic de măsurare și control, este o măsură a concentrației de gaz poluant în monstra de studiat.

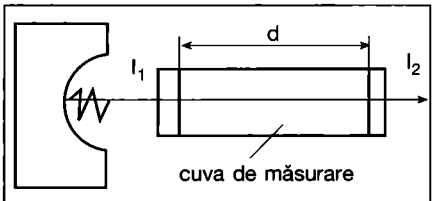


Fig. III.3.28. Ilustrarea legii Lambert Beer.

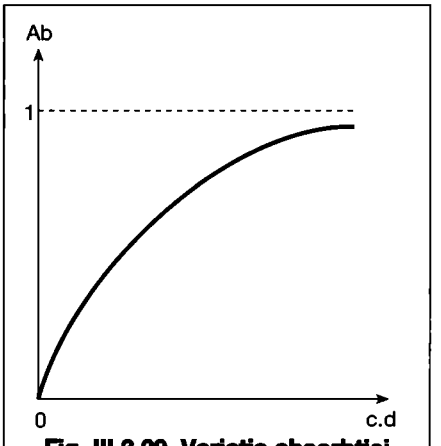


Fig. III.3.29. Variația absorbției funcției de produsul c.d. (concentrație, lungime).

Spectrele de absorbție în domeniul infraroșu (IR) ale monoxidului de carbon, bioxidului de carbon și metanului sunt prezentate în fig. III.3.27.

Dezvoltarea actuală a microelectronicii și a opticii de precizie a făcut posibilă realizarea unor senzori optici cu raze infraroșii de uz industrial, pentru gaze combustibile cu pericol de explozie, respectiv gaze toxice (CO). În acest caz totul este miniaturizat și camera de măsurare este larg deschisă, pătrunderea gazului de măsurat în zona fasciculului IR făcându-se prin convecție naturală.

Metoda măsurării absorbției în două benzi de lungimi de undă IR poate fi folosită pentru supravegherea concentrației de gaze combustibile și toxice în zone întinse (platforme industriale, docuri, tunele). Supravegherea poate fi făcută prin detectare punctuală, care se realizează prin montarea într-o rețea, a unor senzori individuali cu IR, sau detectare liniară, prin folosirea așa numiților senzori deschiși cu IR. Senzorul deschis de gaz cu IR constă dintr-un emițător, un reflector și un receptor de radiație IR, care sunt plasate, în zona de supraveghere, în așa fel încât raza emisă de emițător să fie reflectată de reflector în zona receptorului. De obicei, emițătorul și receptorul se află în aceeași capsulă, reflectorul fiind distanțat față de aceștia la câteva sute de metri (100...300 m) (fig. III.3.30).

Metoda este foarte sensibilă și în același timp foarte robustă, puțin sensibilă la zgomote și perturbații, deoarece orice obiect aflat în calea razelor IR atenuează, în mod egal, cele două fascicule de radiații. Astfel ceața, ploaia, ninsoare, fumul nu perturbă sensibil indicația instalației de măsurare, la fel ca și prezența întâmplătoare a unui obiect opac (pasăre, animal) în calea razelor.

Realizări practice deosebite, în acest domeniu prezintă firma SIEGER.

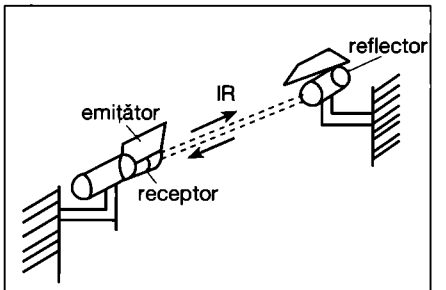


Fig. III.3.30. Senzor deschis de gaz cu IR.

3.7.1.3 Senzorul catalitic de gaze combustibile

Componentele combustibile conținute în amestecurile de gaze, în aer de exemplu, sunt aceleași substanțe gazoase care, în combinație cu oxigenul, conduc la reacții exoterme, deci furnizoare de căldură. Determinarea gradului de încălzire a amestecului de gaze, în condițiile realizării reacției exoterme este o măsură a concentrației de componente combustibile în gazul de analizat.

În mod normal, reacțiile exoterme se produc la temperatura de aprindere a gazului combustibil, în jur de 900°C, dar, în prezența unui metal catalizator (platină, paladiu, rodiu, toriu), combustia are loc la o temperatură mult mai scăzută, sub 450°C. Acest lucru este datorat falptului că metalul catalizator reduce inerția de combinare a gazului combustibil și activează moleculele de oxigen.

Senzorii catalitici de gaze combustibile, moderni sunt realizați sub formă de pastilă miniaturală în care sunt cuprinse două elemente senzitive.

Fiecare element senzitiv este format dintr-un fir bobinat din platină, încălzit electric, încapsulat în ceramică (alumină) și acoperit ulterior cu un strat din alt catalizator, paladiu sau toriu, dispersat pe un strat de oxid de toriu determină creșterea temperaturii, deci și a rezistenței firului de platină corespunzător; pe când, celălalt este inhibat (pasivizat) și are rolul de a urmări schimbările datorate mediului ambiant (presiune, temperatură, umiditate).

Cele două elemente senzitive ale sezonului sunt plasate pe brațe opuse ale unei punți Wheatstone de măsurare, inițial echilibrată.

Diferențele de rezistență dintre cele două elemente ale senzorului determină un dezechilibru al punții, o tensiune care este proporțională cu diferența de temperatură, deci cu concentrația de gaz combustibil în aerul analizat.

Tensiunea de dezechilibru a punții este amplificată și transmisă sistemului de supraveghere, alarmare și control ca o măsură a concentrației de gaze combustibile în atmosferă. Timpul de răspuns al unui astfel de senzor, în zona 25% la 50% LEL (Limita Minimă de Explozie), este de ordinul secundelor, plaja sa de lucru fiind 0...100% LEL.

3.7.1.4 Microsenzori de gaz cu bioxid de staniu

Bioxidul de staniu este un material semiconductor care își schimbă conductibilitatea electrică dacă este expus unui gaz reducător. Pe acest fapt se bazează senzorul chimic cu SnO_2, pentru detectarea concentrației de oxigen, O_2, monoxid de carbon, CO, metan, CH_4, și alte gaze combustibile.

Senzorul de gaze cu SnO_2 face parte din clasa senzorilor cu rezistență variabilă (chemorezistență), dependentă de concentrația de gaz de la interfața gaz-solid a oxidului metalic.

SnO_2 este un semiconductor de tip n (electronic).

Când sezorul este încălzit la o temperatură de 400°C, în absența oxigenului, electronii liberi se mișcă ușor prin structura poroasă a bioxidului de staniu policristalin, determinând o rezistență electrică mică a materialului.

În aer uscat, oxigenul O_2 avid de electroni, se absoarbe pe suprafața particulelor de SnO_2, formând o barieră de potențial la limitele de granulație.

Această barieră de potențial împiedică mișcarea electronilor, determinând creșterea rezistenței electrice a materialului.

Când senzorul este expus unei atmosfere ce conține gaze reducătoare (CO, CH_4, alcool sau alte gaze combustibile), suprafața materialului absoarbe aceste molecule de gaz și prezența oxigenului determină oxidarea acestora. Acest fenomen conduce la consumarea oxigenului absorbit, deci la scăderea diferenței de potențial, cu efect direct micșorarea rezistenței electrice a materialului

Senzorul de gaz cu SnO_2 poate fi fabricat utilizând tehnologia siliciului și a straturilor subțiri.

Aplicarea tehnicilor de procesare a siliciului la senzorii de gaz cu SnO_2 duce la o putere de încălzire joasă (100 mW pentru temperaturi de 300°C) și la posibilitatea integrării senzorului în circuite electronice ce conțin senzori de temperatură și dispozitive pentru amplificarea și prelucrarea semnalului util.

Senzorul de gaz cu bioxid de staniu este, în general, un traductor de gaz neselectiv, folosit adesea pentru detectarea gazelor combustibile, cu deosebit succes mai ales pentru monoxid de carbon CO și hidrogen sulfurat H_2S.

Senzorul trebuie să lucreze la temperatură constantă, ridicată, în jur de 200...300 °C, pentru a mări viteza de reacție și a-l face insensibil la variațiile de temperatură ale mediului ambiant.

De referință în fabricarea senzorilor de gaz cu bioxid de staniu este firma FIGARO din Japonia.

3.7.2. Măsurarea concentrației de gaze toxice în atmosferă

Gazele toxice sunt acele componente ale atmosferei care pot conduce la înrăutățirea stării de sănătate și confort a omului, a sănătății animalelor și atentează la integritatea mediului ambiant. Principalele gaze toxice prezente în atmosferă sunt: oxizii de sulf (SO_2 și SO_3), oxizii de azot (NO_x), hidrogenul sulfurat (SH_2), monoxidul de carbon (CO), amoniacul (NH_3), ozonul (O_3) și unele hidrocarburi.

3.7.2.1 Măsurarea pe baza proprietăților de radiație specifice

3.7.2.1.1 Analizorul de SO_2 prin fluorescență

Eșantionul de gaz atmosferic este prelevat continuu, traversează un filtru de praf din teflon, apoi un filtru de hidrocarburi, intrând apoi în camera optică de analiză a SO_2. Eșantionul este supus unei puternice radiații în ultraviolet, cu o lungime de undă în jurul valorii de 215 nm, produsă de o lampă cu vapori de zinc, care are un spectru de emisie de foarte mare intensitate la această lungime de undă. Puternica radiație UV excită cea mai mare parte a moleculelor de SO_2 care se dezactivează printr-un proces radiativ, cu emisie de radiație electromagnetică de frecvență mai scăzută (fluorescență). Măsurarea cu precizie a energiei de fluorescență se realizează cu un tub fotomultiplicator de înaltă sensibilitate, semnalul fiind ulterior amplificat și prelucrat de un microprocesor. Rezultatul măsurătorii este afișat direct în ppm sau $\mu g/m^3$ de SO_2 în aerul atmosferic.

Determinarea concentrației de gaz poluant în atmosferă prin metoda fluorescenței poate fi aplicată și în cazul măsurării concentrației de hidrogen sulfurat, H_2S, prin modificarea lămpii UV și a frecvenței de recepție a tubului fotomultiplicator.

3.7.2.1.2 Analizorul de oxizi de azot NO, NO_2, NO_x prin chimiluminescență

Chimiluminescența este fenomenul de apariție a unei radiații electromagnetice din spectrul vizibil ca urmare a reacției chimice dintre două substanțe. Acest fenomen poate fi folosit la determinarea concentrației unei anumite substanțe specifice în cadrul unui amestec. Este cazul monoxidului de azot NO, care în reacție cu ozonul, O_3, duce la formarea bioxidului de azot, NO_2, în stare excitată și care, la trecerea în stare fundamentală, emite un foton luminos.

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 + h_\nu \qquad (3.7.4)$$

Fotonul, h_ν, emis în reacția de mai sus, are o lungime de undă (1100 nm) situată în domeniul roșu al spectrului.

Reacția chimică arată că, dacă concentrația de ozon este fixă (și suficient de mare), intensitatea luminoasă emisă prin chimiluminescență este proporțională cu cantitatea de NO prezentă în camera de reacție.

Reacția de chimiluminescență permite doar determinarea concentrației de NO din eșantionul de măsurat. Din această cauză, determinarea concentrației totale de oxizi de azot, NO_x, respectiv a concentrației de bioxid de azot, NO_2, se realizează prin măsurarea concentrației de NO după ce eșantionul de măsurat a fost trecut printr-un convertizor catalitic cu molibden, care asigură transformarea totală a bioxidului de azot în monoxid de azot (NO_2 - NO). Se măsoară succesiv sau paralel prin chimiluminescență concentrațiile de NO_x, respectiv NO, în camerele de reacție, diferența dintre cele două concentrații reprezentând concentrația de NO_2 în eșantionul studiat. Marile firme, specializate în realizarea sistemelor de monitorizare a calității aerului prezintă în nomenclatorul lor de fabricație analizoare de SO_2 prin fluorescență și analizoare de NO_x prin chimiluminescență.

3.7.2.2 Senzorul electrochimic de gaze toxice

Celula electrochimică este formată din doi electrozi încorporați într-un mediu electrolitic. Acest electrolit poate fi sub formă lichidă vâscoasă, sub formă de gel sau sub formă de solid poros impregnat cu soluție. Electrolitul este izolat de influențele exterioare printr-un strat de barieră care poate fi sub forma unei membrane permeabile la gaze, un mediu de difuzie sau un mediu prevăzut cu canale capilare.

În timpul funcționării se aplică o tensiune electrică, de referință, între electrozii celulei. În absența din mediu a substanței chimice active, curentul prin celulă este foarte mic datorită efectului de polarizare intensă a electrozilor.

Dacă în incinta din partea superioară a celulei se găsește gazul chimic activ, acesta pătrunde prin membrana semipermeabilă în senzor, atingând suprafața electrolitului. Moleculele chimic active difuzează prin pelicula subțire de electrolit și ajung la nivelul electrodului de măsurare, unde produc depolarizarea locală a acestuia, printr-o reacție de oxido-reducere. Se realizează astfel o scădere a barierei de potențial și, pentru că între electrozi există tensiunea de referință, prin celulă apare un curent electric a cărui intensitate este direct proporțională cu concentrația de gaz activ.

Dispozitivele miniatură, realizate pe baza acestui fenomen de depolarizare a electrodului activ a unei celule electrochimice, în prezența unui gaz toxic, se numesc senzori electrochimici.

S-au fabricat senzori electrochimici pentru detectarea concentrației de oxigen O_2 și a celor mai importante și comune gaze toxice: monoxidul de carbon CO, hidrogenul sulfurat H_2S, bioxidul de sulf SO_2, amoniacul NH_3, clorul Cl_2 și altele.

Fiecare tip de celulă este proiectat astfel încât să asigure sensibilitatea maximă pentru componenta analizată, în același timp cu asigurarea minimului de interferență față de gaze, posibil prezente în mediul înconjurător.

Limita minimă de detecție poate fi în plaja de la 0,05 ppm la 50 ppm în funcție de gazul analizat și de tipul celulei. Timpul de răspuns tipic este în jur de 30...60 s.

3.7.3. Măsurarea concentrației de praf și aerosoli în atmosferă

Măsurarea prafului în aerul ambiant se realizează, în prezent, prin metoda absorbției radiației beta.

Radiațiile beta de mică energie sunt absorbite de corpurile solide, prin ciocnirea cu electronii materialelor din care sunt formate acestea și a căror densitate este proporțională cu masa materialului respectiv. Absorbția radiației beta este astfel proporțională cu masa materiei întâlnite, independent de natura fizico-chimică a acesteia.

Deci absorbția radiației β de către praful atmosferic nu depinde de proprietățile chimice ale prafului și nici de culoarea sau granulația particulelor în suspensie în atmosferă.

Principiul de măsurare a concentrației de particule solide și lichide în aerul atmosferic constă în determinarea masei de substanță depusă pe un filtru, parcurs, un timp dat, de un debit cunoscut de aer prelevat din zona de măsurat. Din cele precizate mai sus, referitoare la absorbția radiației beta de către substanțe, această determinare se realizează, cel mai fidel, prin măsurarea absorbției radiațiilor beta de către filtru înainte și după filtrarea aerului.

Radiațiile beta sunt absorbite urmând o lege exponențială; determinarea cantității de praf depuse pe filtru constă în a calcula diferența dintre absorbția filtrului curat și absorbția filtrului încărcat cu depozitul de praf.

Elementul de bază în realizarea măsurării prafului din atmosferă prin absorbția radiațiilor β, îl reprezintă dispozitivul de măsurare cu radiațiile beta.

Radiația neabsorbită de filtru este determinată cu ajutorul unui numărător Geiger-Müller după trecerea ei printr-o sită de protecție și limitată de un colimator.

3.7.4. Rețele de microsenzori de gaz

De multe ori, în aprecierea aerului atmosferic este nevoie doar de o evaluare calitativă, pentru a determina: gradul de confort, de poluare, mirosuri sau arome predominante, mărimi în general, nemăsurabile și care prezintă un puternic caracter subiectiv. Deoarece, în aprecierea calității aerului, a alimentelor și a băuturilor, omul folosește, din instinct primordial, simțul olfactiv, s-a ajuns la ideea realizării unui nas electronic, care să determine calitativ gradul de poluare a atmosferei.

3.7.4.1 Nasul electronic

Un nas electronic este, în principiu, un sistem electronic capabil să îndeplinească funcțiile olfactive ale nasului uman.

Sistemul olfactiv uman (situat în nas) cuprinde în jur de 10.000 de senzori. Aceștia sunt, în general, foarte sensibili dar nu și selectivi. Semnalele provenind de la acești senzori, atunci când ei sunt expuși unei excitații complexe (unui miros), sunt trimise la creier și supuse unei analize complexe. Semnalul de ieșire de la creier este în mod normal o concluzie simplă. Individul uman nu încearcă nici să descompună aroma în diferitele ei constituente și nici să cuantifice aceste constituente. În orice caz, înalta sensibilitate a senzorilor umani permite detectarea unor componente ale unui miros complex, prezentate în cantități mici, în unele cazuri până la unu la un trilion (10^{-12}).

Nasul electronic poate fi folosit pentru măsurarea și monitorizarea mirosurilor în orice domeniu, ceea ce sugerează faptul că acesta poate avea diverse aplicații, începând cu industria alimentară și până la monitorizări ale calității mediului.

3.7.4.2 Rețele de microsenzori de gaz

Rețelele (matricile) de senzori de gaz, elemente constitutive de bază ale unui nas electronic, pot fi concepute în diferite tehnologii de realizare a microsenzorilor electronici de gaz. Se pot aminti aici: senzori semiconductori cu bioxid de staniu (SnO_2 senzor), senzori cu undă acustică de suprafață, senzori cu undă acustică de volum, senzori TEC MOS cu poartă din metal catalizator (PdMOS FET de exemplu). Toate aceste tipuri de traductoare de gaz (doar cu excepția senzorilor cu SnO_2) sunt puternic selective și dificil de integrat într-un nas electronic. S-a descoperit că o clasă, relativ largă, de polimeri organici conductori posedă proprietatea de a fi sensibili la o multitudine de substanțe volatile sau gazoase.

Acești polimeri organici au proprietatea de a-și modifica conductivitate când sunt expuși unui mediu ce conține anumite gaze. De remarcat că această proprietate este ușor repetabilă, prezintă un histerezis scăzut și se manifestă rapid, la temperatura camerei. Trebuie subliniată, de asemenea, slaba selectivitate, îmbinată cu puternica sensibilitate a acestor polimeri la diferite substanțe volatile, cât și posibilitățile de integrare a acestor rețele (matrici) de senzori. Tehnologiile de realizare a acestor matrici de senzori sunt compatibile cu cele de fabricare a circuitelor integrate pe scară foarte largă (microtehnologii).

Senzorii răspund la vapori în mod similar cu nasul uman, dar ușor mai lent. În cele mai multe aplicații circa 90 % din semnalul de ieșire este obținut în mai puțin de 60 s.

Lanțul de bază al polipirolului este conductor în cazul în care electronii se pot deplasa de-a lungul lanțului. În cazul unui material pe bază de polipirol pur, conductivitatea poate fi redusă dacă se atașează lanțului o moleculă adițională, de exemplu, o moleculă de trifluorometil cu rolul de a reduce circulația electronilor (fig. III.3.31).

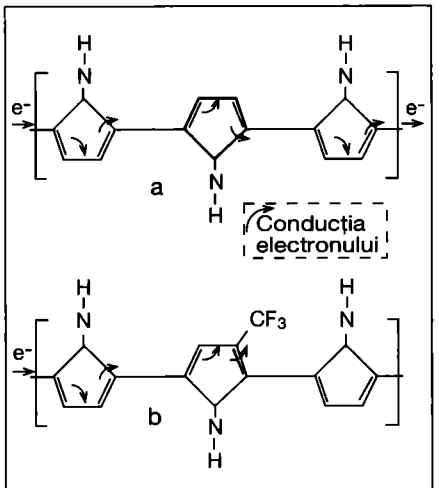


Fig. III.3.31.
a - lanțul de polipirol simplu; conducția electronică;
b - lanțul de polipirol cu un grup trifluorometil atașat.

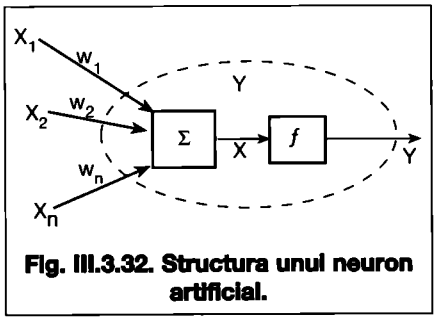


Fig. III.3.32. Structura unui neuron artificial.

3.7.4.3 Rețele neuronale artificiale

O rețea neuronală artificială este un sistem de procesare a informației ale cărui performanțe prezintă caracteristici asemănătoare cu cele ale sistemului nervos biologic. Rețelele neuronale artificiale au fost dezvoltate ca o generalizare matematică a modului de gândire uman (biologic),bazat pe următoarele cunoștințe:

1. procesarea informației are loc la nivelul câtorva elemente simple numite neuroni;
2. semnale care se transferă între neuroni se realizează prin interconexiuni;
3. fiecărei interconexiuni îi este asociată o pondere care, în rețelele neuronale clasice, multiplică sensul transmis;
4. fiecare neuron aplică asupra rezultantei semnalelor de intrare (suma ponderată a semnalelor de intrare) o funcție de activare (neliniară) pentru a furniza semnalul său de răspuns.

O rețea neuronală artificială este alcătuită dintr-o mulțime de noduri în care se află neuroni artificiali, elemente de procesare neliniare, care operează în paralel.

Prin analogie cu neuronul biologic, un neuron artificial are un anumit număr de intrări și o singură ieșire, care se poate conecta la intrarea mai multor neuroni. Fiecare intrare are asociată o pondere, care reprezintă importanța pe care o are impulsul, prezent pe linia respectivă, la activitarea neuronului.

Neuronul artificial este o copie mult simplificată a neuronului biologic.

El este format (fig. III.3.32) dintr-un corp *Y*, un set de intrări x_i și o ieșire *Y*. Fiecare intrare este ponderată, adică semnalul de la intrarea sa este multiplicat cu o valoare corespunzătoare, numită pondere, w_i; toate intrările ponderate sunt însumate, obținându-se semnalul total de excitație $x = y_{-in}$. Asupra sumei obținute se aplică o funcție de activare, *f(x)*, de obicei o funcție cu graficul sub formă de *S*, obținându-se

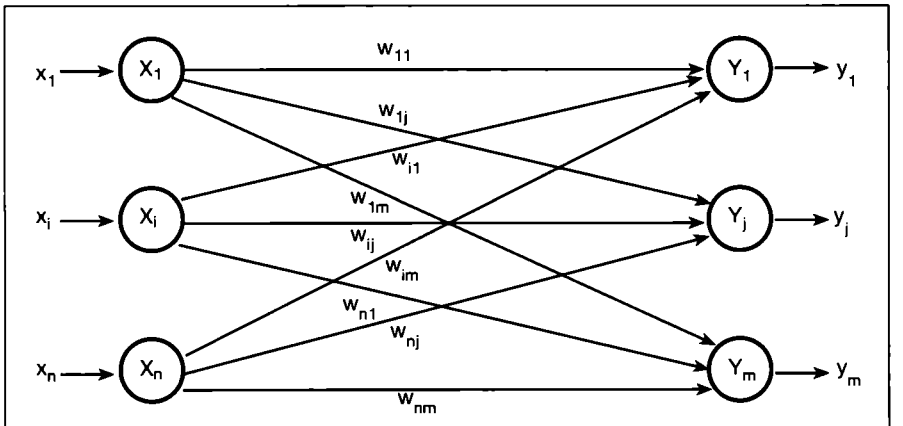


Fig. III.3.33. Rețea neuronală cu propagare înainte, cu un singur strat:
$x_1, x_2, \ldots x_n$ - valorile intrărilor; $w_1, w_2, \ldots w_n$ - ponderile cu care se multiplică, fiecare intrare;

$x = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot x_i = y_{-in}$; excitația totală a rețelei asupra neuronului;

$y = f(x)$ - valoarea ieșirii neuronului (y_{-out}).

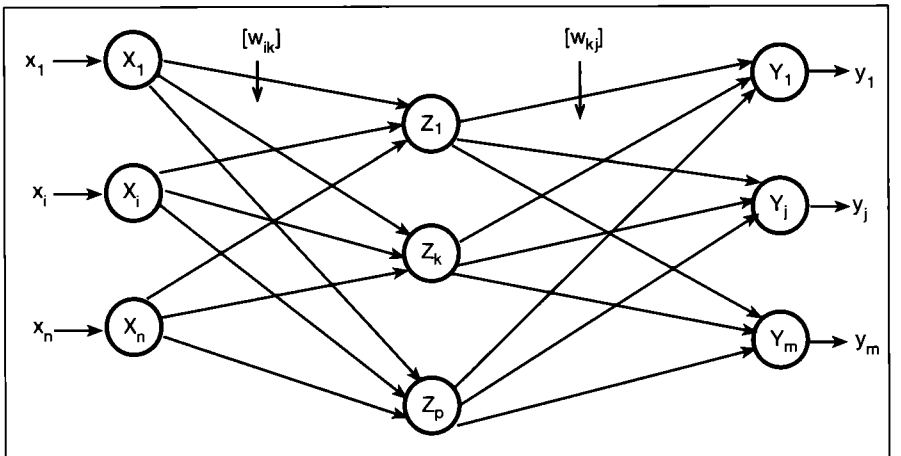


Fig. III.3.34. Rețea neuronală multistrat cu propagare înainte.

valoarea semnalului de ieşire a respectivului neuron, $y = y_{-out} = f(x)$.

$$x = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot x_i = y_{-in} \qquad (3.7.5)$$

Cel mai simplu tip de reţea este reţeaua neuronală cu propagare înainte şi un singur strat, caracterizată prin aceea că prezintă un singur strat de neuroni şi trebuie stabilită o singură matrice de ponderi (fig. III.3.33). Există un număr (nivel) de intrări, egal cu numărul senzorilor, de exemplu, şi un număr (nivel) de ieşiri, egal cu numărul neuronilor, deci cu numărul de decizii care pot fi luate.

Nodurile de intrare X_i au rol numai de a transmite intrările fără rol de calcul; de aceea nu se consideră că formează un strat. Neuronii sunt doar cei notaţi cu *Y*. Reţeaua este cu propagare înainte, pentru că permite fluxul de informaţie doar dintr-un singur sens, de la intrare spre ieşire. Reţeaua din fig. III.3.33 este o reţea total conectată pentru că neuronii de ieşire sunt conectaţi la toate intrările.

În fig. III.3.34 este prezentată o reţea multistrat (două straturi) total conectată, cu propagare înainte.

Reţeaua are un nivel de intrare, cu n intrări, un nivel de ieşire, cu m ieşiri şi un strat ascuns de *p* neuroni. Există două matrici ale ponderilor, corespunzătoare celor două straturi, una ataşată legăturilor dintre nivelul de intrare şi nivelul ascuns, (v_{ik}), de dimensiune *n* x *p*, cealaltă ataşată legăturilor dintre nivelul ascuns şi nivelul de ieşire (W_{kj}), de dimensiune *p x m*. Desigur, în cazul acestor reţele, procesul de învăţare devine mai dificil, uneori putând da greş. În acest ultim caz, procesul de învăţare se ia de la început cu trepte mai mici de modificare a valorilor ponderilor şi eventual cu alte seturi de probă.

Cunoştinţele unei reţele neuronale artificiale sunt înglobate în ponderile sale, ponderi care se ajustează în faza de antrenare.

Există o serie de algoritmi de învăţare, care se împart în două mari categorii, supervizaţi şi nesupervizaţi.

Reţelele neuronale artificiale, folosite în realizarea de nasuri electronice performante, prezintă două, trei sau chiar mai multe niveluri ascunse, ceea ce permite tratarea corectă a neliniarităţilor senzorilor, a zgomotelor şi o adaptabilitate mai bună la procesele stocastice.

Nasurile electronice dotate cu reţele de microsenzori şi reţele neuronale artificiale permit evaluarea atât cantitativă cât şi calitativă a informaţiilor obţinute din mediul înconjurător. Antrenate în regim dinamic, reţelele pot prezice concentraţiile de gaz într-un anumit mediu chiar înainte ca acestea să fie stabile la nivelul matricii de senzori.

3.7.5. Sisteme inteligente de monitorizare a calităţii atmosferei

Inteligenţa artificială este un domeniu privilegiat de utilizare a submulţimilor fuzzy şi a teoriei posibilităţilor, deoarece se lucrează cu cunoştinţe care sunt adesea exprimate de fiinţe umane, deci fundamental imprecise, incerte şi vagi.

În acest context se încadrează şi monitorizarea calităţii atmosferei.

În acest caz este, în mod cert, utilă folosirea „sistemelor expert fuzzy", fundamentate pe reguli de tipul: „dacă *p*, atunci *q*".

Imperfecţiunile asupra cunoştinţelor în monitorizarea calităţii atmosferei şi oportunitatea utilizării logicii fuzzy.

Într-un sistem expert clasic, orice regulă (R) de tip „dacă *p*, atunci *q*" are o premisă *p* şi o condiţie *q* exprimate într-un mod precis şi sigur, ea fiind gestioantă de către un motor de interferenţă fundamentat pe logica clasică.

Dacă anumite fapte sau anumite reguli nu sunt bine cunoscute, regula (R) poate fi prevăzută cu anumiţi coeficienţi care exprimă încrederea expertului (cum este cazul sistemului expert clasic Mycin, utilizabil la diagnosticare medicală) sau să exprime cunoştinţe probabilistice asupra fiabilităţii regulilor, dacă problema de tratat permite astfel de cunoştinţe (cum este cazul în meteorologie sau medicină).

În cazul în care cunoştinţele sunt incertitudini, deci probabilităţile nu sunt cunoscute sau sunt imprecizii sau descrieri vagi - cum este cazul monitorizării calităţii atmosferei, având în vedere fenomenele fizice ce guvernează regulile, este potrivită construirea unui sistem expert care utilizează logica fuzzy şi teoria posibilităţilor.

Utilizând o reprezentare prin submulţimi fuzzy a acestor cunoştinţe se rezolvă probleme legate de utilizarea unei reguli când data folosită corespunde în mod intuitiv, dar nu expres premisei unei reguli, de determinarea limitei rigide, de decuparea în intervale care măreşte practic numărul de reguli şi de continuitatea în apropierea acestor limite.

Există două situaţii posibile:

- cunoştinţele utilizate în reguli şi faptele care caracterizează o anumită situaţie sunt imprecise şi vagi. În acest caz o reprezentare a cunoştinţelor pe baza unor variabile lingvistice şi un motor de inferenţă ce utilizează logica fuzzy, permit tratarea eficientă a acestora;
- cunoştinţele utilizate sunt precise, dar regulile şi faptele care caracterizează o anumită situaţie sunt imposibile. Tratarea acestora se poate face cu motor inferenţă care utilizează teoria posibilităţilor.

Implementarea unui motor de inferenţă pe baza logicii fuzzy poate părea mai dificilă şi operaţiile realizate mai lungi, decât pentru un motor cu inferenţă de utilizare logică clasică.

Anumite concepţii actuale permit simplificarea şi, uneori, chiar evitarea calculelor, rămânând compatibil principiului general cunoscut generic ca fiind „modus ponens general".

În concluzie, următoarele condiţii sunt oportune utilizării logicii fuzzy pentru realizarea unor sisteme expert de monitorizare a calităţii aerului, datele sunt furnizate de instrumente de observaţie a căror precizie nu este absolută, precizia reprezentării trebuie să fie flexibilă pentru a se adapta condiţiilor de observaţie; descrierile folosite utilizează obiecte cu limite imprecise, cu categorii care, eventual, se întrepătrund; observatorii furnizează descrieri subiective, reprezentarea obiectelor trebuie să fie apropiată descrierii lingvistice furnizată de către observatori.

Alături de sistemele expert destinate monitorizării calităţii aerului, au fost realizate şi sisteme expert destinate tratării diferitelor probleme în domeniul medical, financiar şi ca suport pentru realizarea unor probleme matematice şi de previziune.

III. Măsurări

Capitolul 4
Măsurări complexe

O problemă importantă este constituită de efectuarea măsurilor aleatorii.

Pentru măsurarea la distanță a mai multor parametri se utilizează multiplexoare MUX demultiplexoare DMUX care permit utilizarea unui singur fir între MUX și DMUX (fig.III.4.1).

Pentru a transmite mai multe informații (mai multe măsuri - intrări) pe un singur canal (o singură ieșire) este utilizat un selector electromecanic numit și multiplexor MUX. Pentru citirea informațiilor transmise prin intermediul unui MUX la un aparat receptor cu o singură intrare și cu mai multe ieșiri este utilizat un distribuitor, cunoscut și sub denumirea de demultiplexor DMUX.

Selectoarele și distribuitoarele sunt utilizate frecvent în centralele telefonice automate.

În fig. III.4.1. este arătat principiul de transmitere-recepție a informațiilor la distanță pe un singur fir.

Dacă se dorește trimiterea semnalului de la sursa E la lampa de semnalizare H_2, trebuie adusă peria MUX pe borna 1 și DMUX pe borna 2. Pentru ca lampa de semnalizare H_1 să funcționeze, este necesar ca peria MUX să fie pe borna 1 și a DMUX tot pe borna 1.

Evident că pentru a evita distrugerea informației transmisia trebuie făcută sincron.

În varianta electromecanică, MUX și DMUX pot funcționa atât cu semnale analogice (tensiunea putând avea orice valoare) cât și cu semnale logice.

Varianta electronică a multiplexoarelor respectiv demultiplexoarelor logice funcționează pentru semnale logice (U = 0 sau U = 5V).

În acest caz, atât MUX cât și DMUX conțin: intrări W, ieșiri Y și adrese A. Prin intermediul adreselor se realizează operația de comutare de la un fir la altul, în direcția intrări-ieșire la MUX și intrare-ieșiri la DMUX. Referitor la fig. III.4.2 a (MUX) pentru A_1, A_2 = 0,0 comutatorul stabilește legătura $W_0 \Leftrightarrow Y$; pentru A_1, A_2 = 0,1, legătura $W_1 \Leftrightarrow Y$ ș.a.m.d. În fig. III.4.2 b (DMUX) pentru A_1, A_2 = 0,0 se stabilește legătura $F \Leftrightarrow Y_0$ pentru $A_1<A_2$ = 0,1, legătura $F \Leftrightarrow Y_1$ ș.a.m.d. În mod convențional, în dreptul intrării la MUX și a ieșirii la DMUX se notează adresele pentru care se efectuează legătura intrări-ieșire, respectiv intrare-ieșiri.

În fig. III.4.3 este dată schema de transmisie a informațiilor MUX, respectiv DMUX în varianta electronică (digitală), pentru cuvinte cu patru biți.

Un cuvânt (byte) este format din mai mulți biți. În cazul respectiv byte-ul are patru biți; la calculatoarele personale uzuale un byte este format din opt biți, conform codului ASCII (American Standard Code Interchange Information). Cuvântul de opt biți se mai numește octet.

În mod normal, sistemul transmite pe un singur fir F un byte. Deci MUX transformă informația paralelă într-o informație serială, care este transmisă prin F la DMUX. La rândul său DMUX transformă informația serială într-o informație paralelă. Pentru aceasta, pe adresele A_1 A_2 atât MUX cât și la DMUX se efectuează o baleiere completă. Pentru a nu se distruge informația, baleierea adreselor trebuie efectuată sincron.

În funcție de lungimea cuvântului se alege tipul de MUX, respectiv DMUX. De exemplu, pentru un cuvânt de opt biți ($W_0 \ldots W_1 \rightarrow 2^3$) sunt necesare pentru o baleiere completă trei adrese A_1, A_2, A_3. În cazul prezentat la patru biți ($W_0 \ldots W_3 \rightarrow 2^3$) sunt necesare două adrese (A_1, A_2).

Deci cuvântul este format din 2^n biți, în care n este numărul de adrese necesar. În acest caz, ecuațiile de funcționare sunt:

Pentru MUX:

$$F = \bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot W_0 + \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot W_1 + A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot W_2 + A_1 \cdot A_2 \cdot W_3 \quad (3.4.1)$$

Pentru DMUX:

$$Y_0 = \bar{A}_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot F$$
$$Y_1 = \bar{A}_1 \cdot A_2 \cdot F$$
$$Y_2 = A_1 \cdot \bar{A}_2 \cdot F \quad (3.4.2)$$
$$Y_3 = A_1 \cdot A_2 \cdot F$$

Trecerea de la aparatele de măsurat indicatoare la cele înregistratoare a constituit o evoluție importantă în domeniul centralizării măsurărilor (§ 2.8). Acestea sunt capabile să achiziționeze și să trateze un număr mare de intrări și chiar să acționeze asupra procesului prin contactele unor relee. Adică pe lângă funcția de măsurare au și funcții de comandă. Prelucrarea mărimilor fizice necesită tratamente specifice (de presiune, nivel, debit, temperatură etc.). Ansamblul acestor măsurări și înregistrarea lor informează utilizatorul de starea sistemului la un moment dat și de evoluția procesului supravegheat (monitorizat) în timp. Înregistratoarele se aleg, în funcție de proces, cu sau fără hârtie (imprimantă), pentru o mărime sau mai multe (monocurbă sau multicurbe). Înregistratoarele multicurbe se realizează în mod obișnuit, pentru 3, 6 sau 12 mărimi. Ele utilizează un multiplexor, fiind necesar un singur dispozitiv de trasare.

Memorarea se efectuează pe imprimantă (suport de hârtie cu deplasare liniară sau unghiulară cu viteză constantă).

Tehnica înregistrării permite rezolvarea funcțiilor de bază ale unui concentrator de date (colectarea și conservarea observațiilor cu privire la sistemul monitorizat). Desigur că trecerea de la multiplexoare analogice - logică cablată (fig.III.4.1) la cea numerică - logică programată (fig. III.4.2) permite creșterea numărului de funcții asigurate, suplețea în utilizare și caracterul universal al concentratoarelor de date.

O centrală de măsură are, ca obiectiv, achiziția și tratarea datelor. Aceasta se realizează prin următoarele funcții: interfață cu procesul (intrări/ieșiri), controlul centralei și tratarea măsurărilor; interfață om-mașină, comunicarea cu un calculator de supervizare. Informațiile din proces sunt semnale analogice (intensități sau tensiuni furnizate de traductoarele de măsură) sau semnale logice (contacte sau informații codificate numeric). Semnalele analogice sunt intensități în gama 4-20 mA c.c. sau tensiuni 0...5 V c.c.

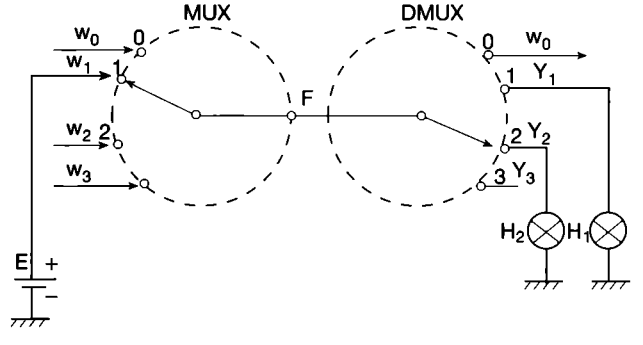


Fig.III.4.1. Principiul de transmisie-recepție a mai multor informații pe un singur canal (multiplexare-demultiplexare).

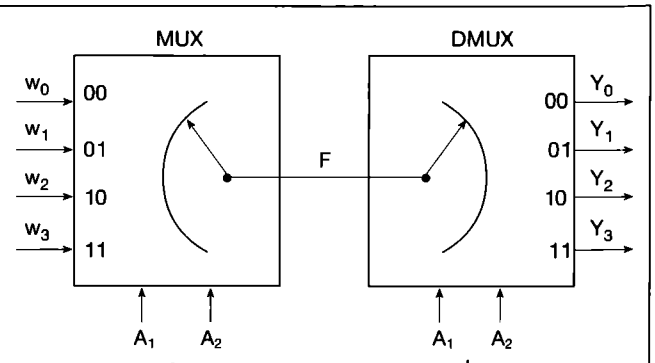


Fig.III.4.3. Schema de transmitere a informațiilor cu MUX și DMUX.

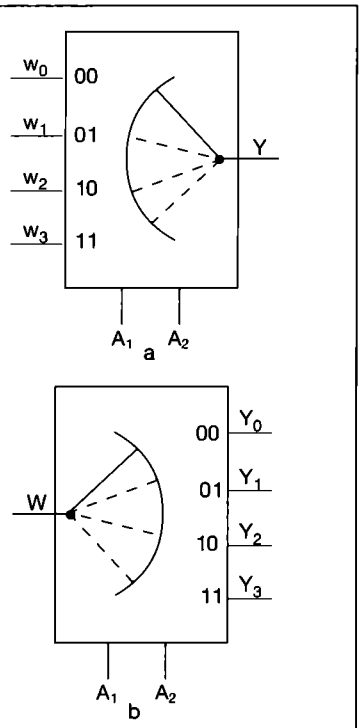


Fig. III.4.2. Principiul de funcţionare al MUX-DMUX cu circuite integrate VLSI.

Cele mai moderne sunt sistemele de măsurare asistate de calculator.

Sistemele de măsurare şi preluare a informaţiei presupun o automatizare a măsurărilor, astfel încât să se poată realiza pe de o parte, obţinerea de date din mai multe puncte de măsurare, într-un timp cât mai scurt, şi pe de altă parte o preluare rapidă a rezultatelor măsurărilor pentru a se lua decizii eficiente în timp util.

Aceasta presupune: culegerea informaţiei primite, în general, de la mai multe traductoare care transformă mărimile neelectrice în mărimi electrice

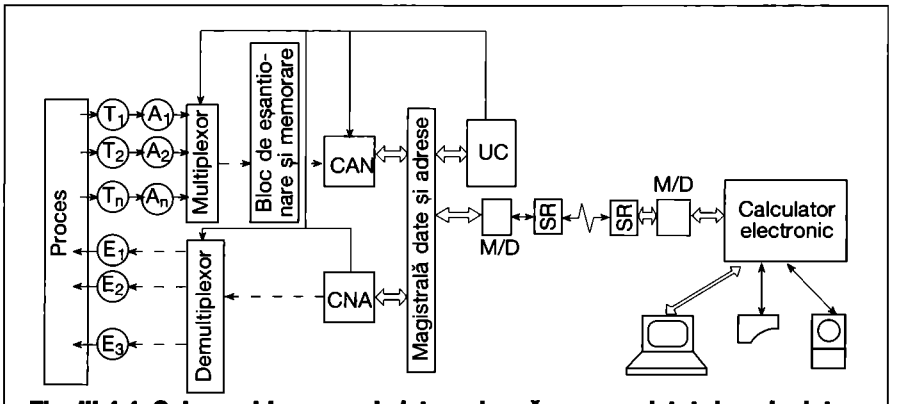


Fig. III.4.4. Schema bloc a unui sistem de măsurare asistat de calculator.

(intensităţi, tensiuni); prelucrarea preliminară a acestor mărimi electrice astfel încât să poată fi prezentate sub o formă accesibilă unui calculator numeric; prelucrarea propriu-zisă a informaţiei de către calculatorul electronic, în conformitate cu un algoritm stabilit anterior; afişarea rezultatelor măsurărilor şi luarea unor decizii, fie automat în conformitate cu acelaşi algoritm prestabilit, fie prin comenzi date de operator, de la consola calculatorului.

Un astfel de sistem de prelucrare a informaţiei, construit în jurul unui calculator numeric, presupune considerarea a două categorii importante de probleme: cele legate de partea de „hardware", adică de echipamentul propriu-zis şi cele legate de partea de „software", adică programele necesare prelucrării informaţiei în scopul propus.

Funcţionarea sistemului de măsurare asistat de calculator prezentat în figura III.4.4. constă în următoarele:

- informaţiile primite de la traductoarele $T_1...T_n$ sunt adaptate în semnale electrice analogice de către adaptoarele $A_1...A_n$ şi transmise pe o singură cale de transmisie, prin intermediul multiplexorului, către blocul de eşantionare şi memorare.

Prin intermediul convertorului analog-numeric acestea sunt aduse la o formă compatibilă cu echipamentul central şi apoi trimise în magistrala de date şi adrese către modem. După transformarea lor în semnale modulate, acestea sunt transmise prin staţia de emisie radio către staţia de recepţie radio centrală. Aici sunt demodulate şi transmise calculatorului electronic.

Unitatea centrală UC coordonează activitatea de transmisie a datelor către şi de la calculator.

În cazul în care sistemul are şi rol de conducere a procesului, semnalele de comandă primite de la calculator sunt convertite în semnale analogice de CNA, iar apoi transmise elementelor de execuţie $E_1...E_n$ prin intermediul demultiplexorului.

Sistemul de achiziţii de date şi cel de supraveghere sunt realizate de diferite firme, printre care ENERGO-CONTROL, ASTI CONTROL şi ROKURA din Bucureşti. DATA AQUISITION KEITHLEY INSTRUMENTS INC., Cleveland, SUA.

IV. Automatizări

Capitolul 1
Probleme generale

1.1. Definiţii

Automatica este definită ca parte a ştiinţelor tehnice, care se ocupă cu teoria şi realizarea constructivă a obiectelor tehnice, de exemplu instalaţii şi utilaje ce funcţionează fără intervenţia directă a omului

Automatizarea este definită ca aplicarea automaticii la anumite obiecte tehnice, cu ajutorul sistemelor automate. De exemplu: automatizarea instalaţiilor pentru construcţii, automatizări în industria chimică, automatizări în metalurgie etc.

Sistemul automat (SA) este definit ca model al unui obiect, realizat prin metode sistemice, în scopul studierii lui în raport cu variabila independentă de timp *t*. Metodele sistemice utilizate în mod obişnuit sunt: metoda renunţării şi metoda experimentală. Sistemele automate sunt cu reacţie inversă (înapoi) - feed back (schema bloc dată în fig. IV.1.1 şi cu reacţie înainte - feed forward - cu schema bloc dată în fig. IV.1.2).

Elementele componente ale celor două scheme sunt:
- comparatorul (Comp);
- amplificatorul (A);
- elementul de comandă (C);
- element de execuţie (E);
- instalaţie tehnologică (IT);
- proces de automatizat (P);
- traductorul (T);
- element de adaptare a perturbaţiei (N);
- blocul de calcul (BC).

Semnalele sunt: la intrare *w(t)*;
la ieşire *y(t)*.

În interiorul sistemului automat SA există semnalele:
ε - la ieşirea din comparator:
$\varepsilon = w(t) - y_r(t)$ (1.5.1)
ε^* - semnalul amplificat;
u - semnalul de comandă;
m - semnalul de execuţie;
v - semnalul la ieşirea din elementul N ce adaptează perturbaţia p;
y_p - semnal ce intră în P;
y - semnal la ieşirea din proces, care se aplică pe intrarea T; la ieşirea din T se obţine semnalul y_r (mărimea de reacţie).

Comparatorul (Comp.) efectuează comparaţia dintre mărimea de referinţă *w(t)* şi cea măsurată $y_r(t)$ conform relaţiei 1.5.1.

Amplificatorul (A) realizează amplificarea semnalului de abatere $\varepsilon(t)$.

Elementul de comandă (C) primeşte la intrare semnalul $\varepsilon^*(t)$ şi transmite la ieşire semnalul $u(t)$.

Elementul de execuţie (E) realizează legătura elementelor de automatizare (echipament de automatizare) EA cu P.

Traductorul (T) transformă semnalul din proces y într-un semnal compatibil cu SA notat cu y_r.

Blocul de calcul (BC) asigură funcţia de înregistrare de date şi de conducere.

1.2. Funcţiunile SA

Acestea sunt de: măsurare, comandă, reglare, semnalizare, protecţie şi conducere şi se pot urmări pe fig. IV.1.1. Funcţia de măsurare este realizată pe calea inversă, de traductor. Funcţia de comandă este realizată pe calea directă - SA cu circuit deschis şi corespunde iniţierii comenzii de către elementul de comandă şi este transmisă la elementul de execuţie. Funcţia de reglare este realizată de SA cu un circuit închis, care urmăreşte obţinerea mărimii date *w(t)* prin supravegherea permanentă a semnalului de ieşire *y* şi acţionarea în lanţul de elemente de automatizare în sensul realizării *w(t)*. Funcţia de semnalizare este realizată pe calea inversă, în sensul că atunci când ieşirea *y* iese dintr-un anumit domeniu prestabilit (sub minimum sau peste maximum) atunci se realizează o semnalizare acustică sau/şi optică. Funcţia de protecţie este mai puternică decât cea de semnalizare; în cazul depăşirii limitelor admise (semnalizarea a funcţionat şi nu s-a intervenit asupra sistemului) din diverse motive, funcţia de protecţie intervine şi blochează (opreşte) funcţionarea sistemului. Funcţia de conducere presupune existenţa calculatorului.

1.3. Clasificarea SA

Se face după:
- mărimea de intrare *w*:
  - dacă *w* = const., SA este cu stabilizare;
  - dacă *w* = program, sistemul este cu program;
  - dacă *w* = aleatoriu, sistemul este de urmărire;
- numărul mărimilor de ieşire; monovariabile şi multivariabile;
- agentul purtător de semnal: electronice, pneumatice, hidraulice, electropneumatice etc.;
- caracteristicile constructive: specializate, unificate;
- modul de transmitere a comenzii: cu şi fără energie auxiliară;
- caracterul prelucrării semnalului: continuu (liniar - P, I, PI, PD, PID şi neliniar - bi şi tripoziţional); discret (logică combinaţională, logică secvenţială - logică cablată şi logică programată, numerice de tip P, I, PI, PD, PID);
- viteza de răspuns: rapide, lente.

1.4. Problemele SA

Acestea sunt: analiza, sinteza şi testarea.

Analiza constă în determinarea semnalului la ieşire *y* (răspunsul SA), atunci când se cunoaşte semnalul aplicat la intrare *w* şi sistemul fizic *f*.

Sinteza constă în determinarea structurii constructive a sistemului fizic *f* şi implementarea lui, atunci când se cunosc intrarea *w* şi ieşirea *y*.

Testarea constă în determinarea intrării *w* când se cunoaşte ieşirea şi sistemul fizic.

1.5. Semnale utilizate în automatică

Semnalele utilizate în mod obişnuit sunt: treaptă, rampă, impuls şi semnale armonice (sinusoidal sau cosinusoidal.

Acestea sunt definite în modul următor:
- Semnalul de treaptă poate fi unitară (fig. IV.1.3 a) sau de valoare *K* (fig. IV.1.3 b) şi sunt exprimate prin relaţiile 1.5.2, 1.5.3:

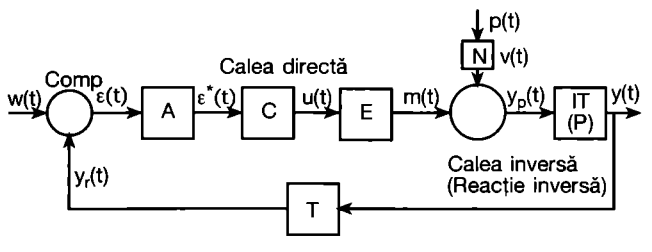


Fig. IV.1.1. Schema bloc a unui sistem automat cu reacţie inversă.

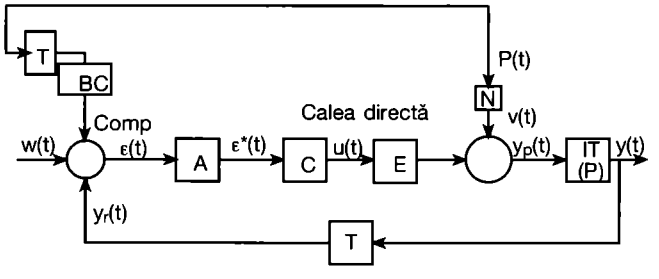


Fig. IV.1.2. Schema bloc a unui sistem automat cu reacţie înainte.

$$\begin{cases} y = 0 & t<0 \\ y=1 & t \geq 0 \end{cases} \quad (1.5.2)$$

$$\begin{cases} y = 0 & t<0 \\ y=k & t \geq 0 \end{cases} \quad (1.5.3)$$

- Semnalul rampă poate fi unitar ($tg\alpha$ = 1 - fig.IV.1.4 a) sau pantă v (fig. IV 1.4 b) și sunt exprimate prin relațiile:

$$\begin{cases} y = 0 & t \leq 0 \\ y=t & t > 0 \end{cases} \quad (1.5.3)$$

$$\begin{cases} y = 0 & t \geq 0 \\ y=vt & t > 0 \quad tg\alpha=v \end{cases} \quad (1.5.4)$$

- Semnalul impuls (funcția Dirac) este reprezentat în fig. IV.1.5 și este exprimat de relațiile:

$$\begin{cases} y = 0 & t < 0 \\ y=\infty & t = 0 \\ y=0 & t > 0 \end{cases} \quad (1.5.5)$$

- Semnalele armonice (sinusoidale și cosinusoidale) sunt date în fig. IV.1.6 și IV.1.7 și sunt exprimate de relațiile:

$$y = sin\omega t \quad (1.5.6)$$

$$y = cos\ \omega t \quad (1.5.7)$$

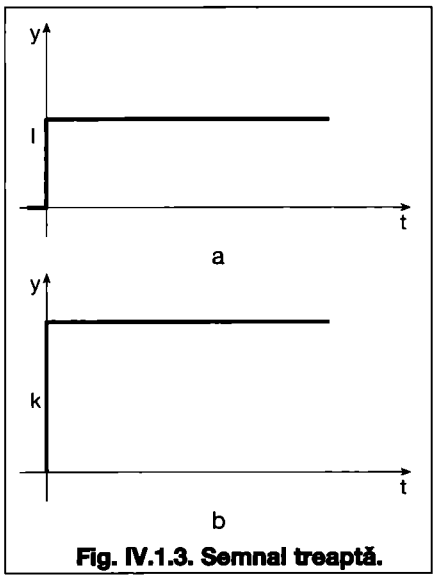


Fig. IV.1.3. Semnal treaptă.

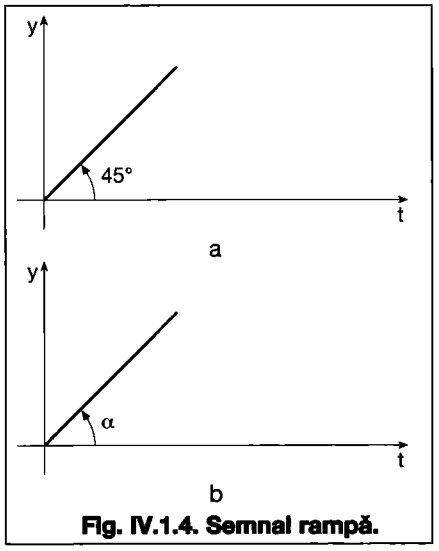


Fig. IV.1.4. Semnal rampă.

1.6. Transformata Laplace

Având funcția original *y(t)*, funcția imagine (transformata Laplace) *Y(s)* în care $s = \sigma \pm j\omega$ se obține prin aplicarea operatorului Laplace funcției original

$$Y(s) = \mathcal{L}[y(t)] \quad (1.6.1)$$

$$Y(s) = \int_0^{\infty} y(t)e^{-st}dt \quad (1.6.2)$$

Prin intermediul transformatei Laplace, se poate efectua trecerea unei funcții din domeniul real (timp *t*) în domeniul complex (frecvență *s*). Utilizând transformata inversă Laplace (se pleacă de la funcția imagine) se ajunge la funcția original

$$y(t) = \frac{1}{2\pi j}\int_{c-j\omega}^{c+j\omega} Y(s)e^{-st}ds \quad (1.6.3)$$

în care *c* este constanta pragului de convergență.

1.7. Funcția de transfer a funcției original h(t)

Notată cu *H(s)* este caracteristica cea mai generală a unui element sau SA și este definită ca fiind raportul transformatelor Laplace dintre mărimile de ieșire și cea de intrare în condiții inițiale nule.

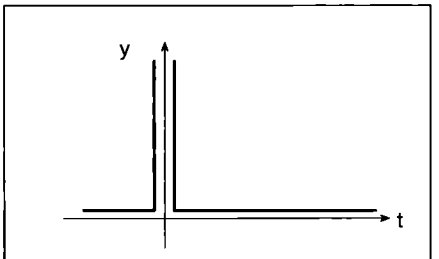


Fig. IV.1.5. Semnal impuls.

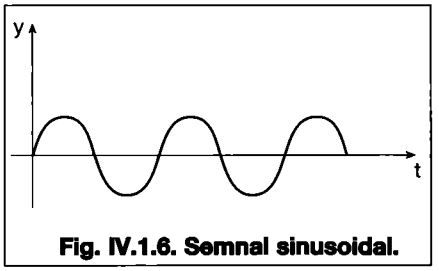


Fig. IV.1.6. Semnal sinusoidal.

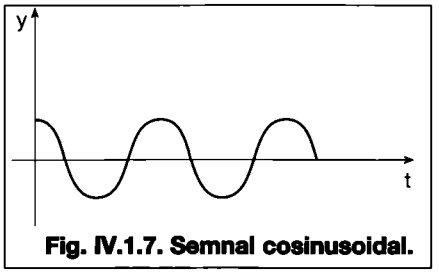


Fig. IV.1.7. Semnal cosinusoidal.

$$H(s) = \frac{X_e(s)}{X_i(s)} \quad (1.7.1)$$

Exemplul de calcul 1:

Să se calculeze *h(t)* a circuitului RC din fig. IV.1.8.

$$u_i = Ri + \frac{1}{C}\int idt \quad (1.7.2)$$

$$u_e = \frac{i}{C}\int idt \quad (1.7.3)$$

Se aplică transformata Laplace:

$$U_i(s) = RI(s) + \frac{1}{sC}I(s) \quad (1.7.4)$$

$$U_e(s) = \frac{1}{sC}I(s) \quad (1.7.5)$$

$$H(s) = \frac{U_e(s)}{U_i(s)} = \frac{\frac{1}{sC}I(s)}{\left(R + \frac{1}{sC}\right)I(s)} =$$

$$= \frac{1}{1 + sRC} = \frac{1}{1 + sT} \quad (1.7.6)$$

unde:

$T = RC$ - constanta de timp a circuitului (1.7.7)

Algebra funcțiilor de transfer

Conexiunea paralelă (fig. IV.1.9)

Se pune problema înlocuirii acestor elemente cu unul singur care să aibă același efect. Trebuie determinată fdt echivalentă.

$$Y(s) = Y_1(s) + Y_2(s) + Y_3(s) \quad (1.7.8)$$

$$H_1(s) = \frac{Y_1(s)}{W(s)};\ H_2(s) = \frac{Y_2(s)}{W(s)};$$

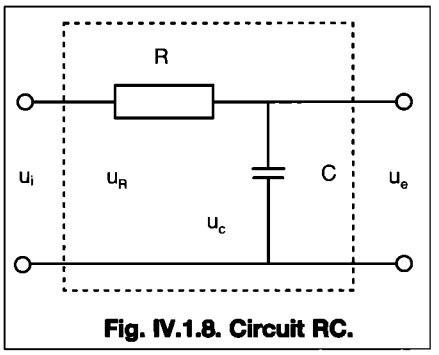


Fig. IV.1.8. Circuit RC.

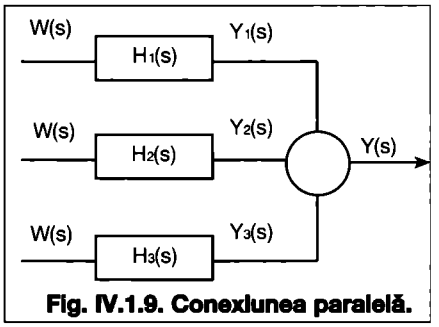


Fig. IV.1.9. Conexiunea paralelă.

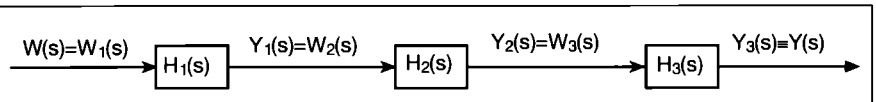


Fig. IV.1.10. Conexiunea serie.

$$H_3(s)=\frac{Y_3(s)}{W(s)} \quad (1.7.9)$$

$$Y_1(s)=H_1(s)W(s);$$
$$Y_2(s)=H_2(s)W(s);$$
$$Y_3(s)=H_3(s)W(s) \quad (1.7.10)$$

Înlocuind în relația (1.7.8) se obține:

$$Y(s)=\left[H_1(s)+H_2(s)+H_3(s)\right]W(s) \quad (1.7.11)$$

Din care rezultă:

$$H(s)=\frac{Y(s)}{W(s)}=$$
$$=H_1(s)+H_2(s)+H_3(s)=$$
$$=\sum_{i=1}^{3}H_i(s) \quad (1.7.12)$$

În cazul general:

$$H(s)=\sum_{i=1}^{n}H_i(s) \quad (1.7.13)$$

Conexiunea serie (fig. IV.1.10)

$$H_1(s)=\frac{Y_1(s)}{W_1(s)};\ H_2(s)=\frac{Y_2(s)}{W_2(s)};$$
$$H_3(s)=\frac{Y_3(s)}{W_3(s)} \quad (1.7.14)$$

$$Y_1(s)=H_1(s)W_1(s)=H_1(s)W(s) \quad (1.7.15)$$

$$Y_2(s)=H_2(s)W_2(s)=H_2(s)Y_1(s)=$$
$$=H_1(s)H_2(s)W(s) \quad (1.7.16)$$

$$Y_3(s)=H_3(s)W_3(s)=H_3(s)Y_2(s)$$
$$=H_1(s)H_2(s)H_3(s)W(s) \quad (1.7.17)$$

$$H(s)=\frac{Y(s)}{W(s)}=H_1(s)H_2(s)H_3(s)=$$
$$=\prod_{i=1}^{3}H_i(s) \quad (1.7.18)$$

În cazul general:

$$H(s)=\prod_{i=1}^{n}H_i(s) \quad (1.7.19)$$

Conexiunea paralel - opusă (fig. IV.1.11).

$$\varepsilon(s)=W(s)\pm Y_r(s) \quad (1.7.20)$$

$$H_d(s)=\frac{Y(s)}{\varepsilon(s)} \quad (1.7.21)$$

$$H_r(s)=\frac{Y_r(s)}{Y(s)} \quad (1.7.22)$$

$$Y(s)=e(s)H_d(s) \quad (1.7.23)$$

$$Y(s)=e(s)H_d(s)=$$
$$=\left[W(s)\pm Y_r(s)\right]H_d(s)=$$
$$=W(s)H_d(s)\pm Y_r(s)H_d(s) \quad (1.7.24)$$

$$Y_r(s)=H_r(s)Y(s) \quad (1.7.25)$$

$$Y(s)=W(s)H_d(s)\pm H_r(s)Y(s)H_d(s) \quad (1.7.26)$$

$$Y(s)\left[1\pm H_d(s)H_r(s)\right]=W(s)H_d(s) \quad (1.7.27)$$

$$H(s)=\frac{Y(s)}{W(s)}=\frac{H_d(s)}{1\pm H_d(s)H_r(s)} \quad (1.7.28)$$

$$H(s)=\frac{H_d(s)}{1\pm H_d(s)H_r(s)} \quad (1.7.29)$$

Dacă coeficientul de proporționalitate al traductorului de pe calea de reacție este 1, se obține conexiunea cu reacția unitară $H_r(s) = 1$. În acest caz conexiunea paralel-opusă devine paralel-opusă cu reacție unitară (fig. IV.1.12):

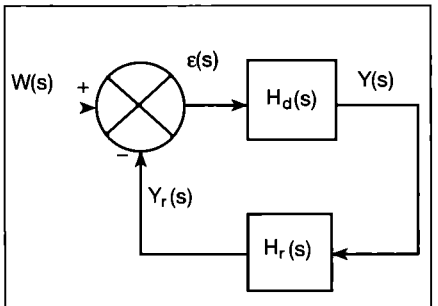


Fig. IV.1.11. Conexiunea paralel - opusă.

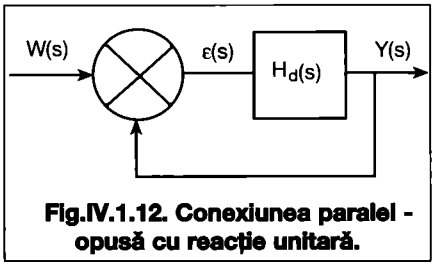


Fig.IV.1.12. Conexiunea paralel - opusă cu reacție unitară.

$$H(s)=\frac{H_d(s)}{1\pm H_d(s)} \quad (1.7.30)$$

Obs. La stabilitatea SA se pune problema determinării polilor fdt. Pentru aceasta este necesar a se rezolva ecuația de la numitorul relației 1.7.29 sau ecuația de la numitorul relației 1.7.30 în

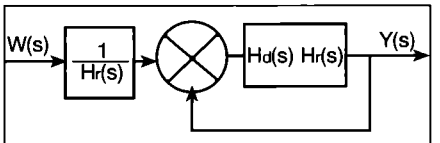


Fig. IV.1.13. Transformarea conexiunii paralel-opuse într-o conexiune cu reacție unitară.

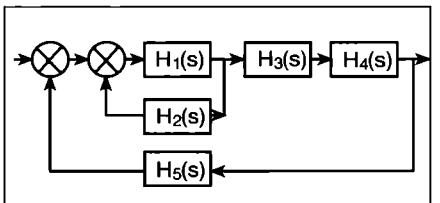


Fig. IV.1.14. SA cu două reacții.

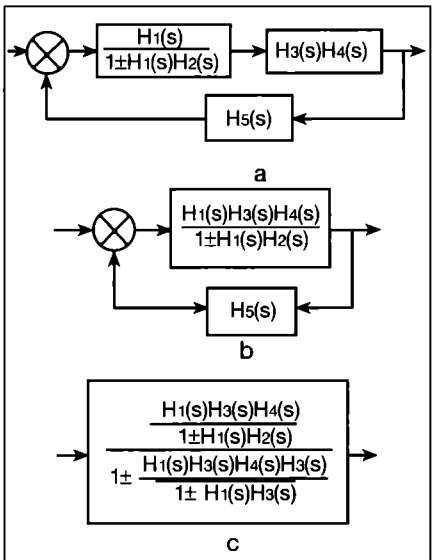


Fig. IV.1.15. *Fdt* a SA cu două reacții din fig. IV.1.16.

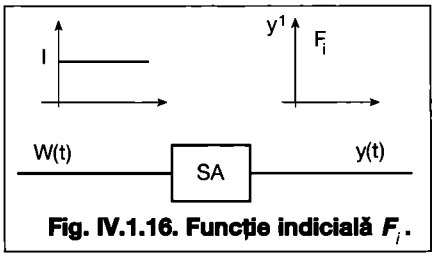


Fig. IV.1.16. Funcție indicială F_i.

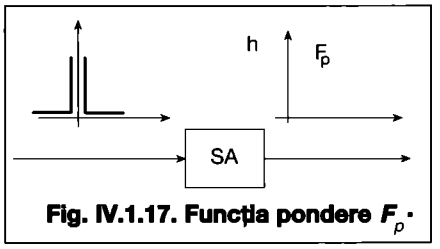


Fig. IV.1.17. Funcția pondere F_p.

cazul reacției unitare.

Din acest motiv se caută aducerea SA la forma cu reacție unitară. Pentru aceasta se procedează ca în fig. IV.1.13.

$$H(s)=\frac{Y(s)}{W(s)}=$$

$$=\frac{1}{H_r(s)}\left[\frac{H_d(s)H_r(s)}{1\pm H_d(s)H_r(s)}\right]= \quad (1.7.31)$$

$$=\frac{H_d(s)}{1\pm H_d(s)H_r(s)}$$

SA cu reacții multiple.

Se calculează:

fdt a conexiunii paralel - opuse de pe calea directă și

fdt echivalentă a elementelor $H_3(s)$ și $H_4(s)$ conectate în serie (fig. IV.1.15 a);

fdt pe calea directă (fig. IV.1.15 b);

fdt pentru conexiunea paralel-opusă a SA (fig. IV.1.15).

1.8. Funcția indicială și funcția pondere

Atunci când la intrarea unui sistem se aplică un semnal oarecare, la ieșire rezultă o mărime (semnal) care se numește răspunsul *SA*.

Când semnalul aplicat la intrare este un semnal treaptă, răspunsul se numește *„funcție indicială"* și se notează cu F_i sau $y_1(t)$ (fig. IV.1.16).

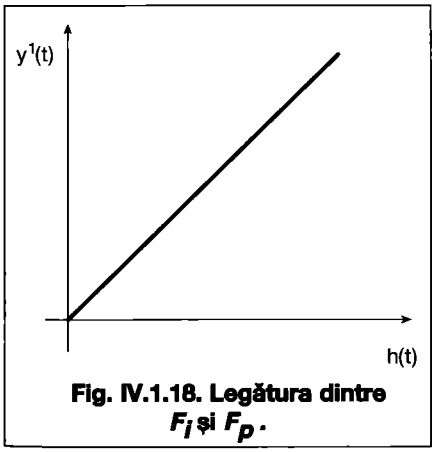


Fig. IV.1.18. Legătura dintre F_i și F_p.

$$F_i=y^1(t)=y^1 \quad (1.8.1)$$

$$H(s)=\frac{Y(s)}{W(s)}=\frac{Y(s)}{\frac{1}{s}}=s\cdot y(s)$$

$$=s\cdot\mathcal{L}\left[y^1(t)\right]=\mathcal{L}\left[\frac{dy^1}{dt}\right] \quad (1.8.2)$$

Când semnalul aplicat la intrare este un impuls, răspunsul se numește *„funcție pondere"* și se notează cu F_p, $h(t)$ sau h (fig. IV.1.17)

$$H(s)=\frac{Y(s)}{W(s)}=\frac{Y(s)}{1}=Y(s)=\mathcal{L}\left[h(t)\right] \quad (1.8.3)$$

Legătura dintre F_i și F_p (fig. IV.1.18)

Pentru un același *SA*:

$$H(s)=\mathcal{L}\left[\frac{dy^1(t)}{dt}\right] \quad (1.8.4)$$

$$H(s)=\mathcal{L}\left[h(t)\right] \quad (1.8.5)$$

Rezultă:

$$\mathcal{L}\left[\frac{dy^1(t)}{dt}\right]=\mathcal{L}\left[h(t)\right]$$

$$\left[\frac{dy^1(t)}{dt}\right]=h(t) \quad (1.8.6)$$

$$y^1(t)=\int h(t)\,dt \quad (1.8.7)$$

1.9. Sistem de urmărire a poziției unghiulare

Prin studierea acestui sistem se poate vedea în ce constă problema analizei *SA*.

Conform fig. IV.1.19 sistemul are la bază potențiometrele P1 și P2.

Dacă se modifică poziția unghiulară θ_i a P1 atunci prin SA de urmărire P2 își modifică și el poziția cu unghiul θ_e ($\theta_i \equiv \theta_e$).

$$u_i=k_1\theta_i \quad (1.9.1)$$

$$u_e=k_1\theta_e \quad (1.9.2)$$

$$u_d=u_i-u_e \quad (1.9.3)$$

Tensiunea de diferență u_d este amplificată de amplificatorul A la ieșirea căruia se obține u_d respectiv i.

$$i=K_2u_d \quad (1.9.4)$$

Motorul electric de c.c. cu excitație independentă M este parcurs în circuitul de acționare de curentul i, iar în circuitul de excitație, respectiv prin înfășurarea de excitație L_{ex} de curentul i_{ex} = const. (u_{ex} = const.). Pe arborele motorului electric M care acționează P2 sunt prevăzute: un reductor de turație R, o clapetă de reglare CR care se rotește cu unghiul θ_e, cuplu de inerție J și cuplul de frecare vâscoasă D dintre rotor și stator, inclusiv de la ventilatorul motorului electric M.

În regim staționar

$$\theta_i=\theta;\ u_i=u_e;\ u_d=0;\ i=0 \quad (1.9.5)$$

și M stă pe loc

În regim dinamic

$$\theta_i\neq\theta;\ u_i\neq u_e;\ u_d\neq 0;\ i\neq 0 \quad (1.9.6)$$

Modelul matematic rezultă din ecuația de echilibru dinamic (cuplul motor M_m egal cu cuplul rezistent M_r).

$$M_m=\Sigma M_r \quad (1.9.7)$$

$$M_r=M_j+M_D+M_f \quad (1.9.8)$$

în care:

M_f - este cuplul de frecare ce se neglijează ($M_f\cong 0$)

$$M_r\cong M_j+M_D \quad (1.9.9)$$

$$M_j=J\frac{d^2\theta_e}{dt^2} \quad (1.9.10)$$

$$M_D=D\frac{d\theta_e}{dt} \quad (1.9.11)$$

$$M_m=K_3\Phi_{ex}i \quad (1.9.12)$$

Deoarece i_{ex} = const. și Φ_{ex} = const. În aceste condiții se poate scrie:

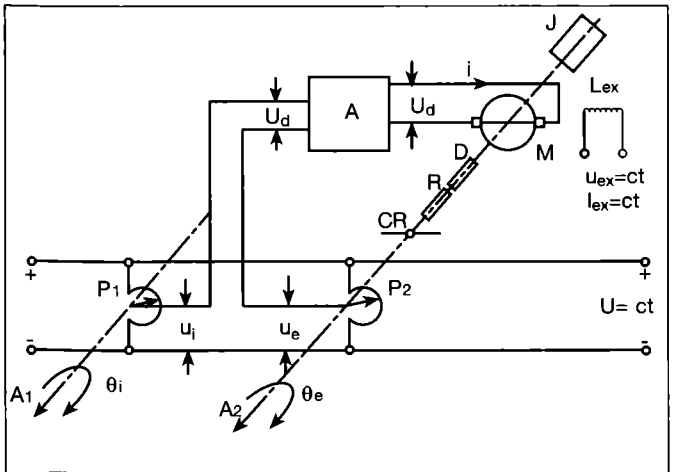


Fig. IV.1.19. Sistem de urmărire a poziției unghiulare.

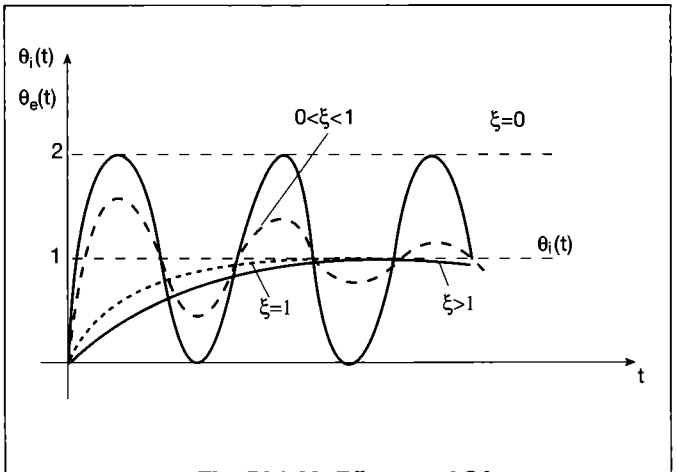


Fig. IV.1.20. Răspunsul SA.

$$M_m = K_4 \cdot i \quad (1.9.13)$$

și relația 1.9.7 devine:

$$K_4 \cdot i = J\frac{d^2\theta_e}{dt^2} + D\frac{d\theta_e}{dt} \quad (1.9.14)$$

$$K_4 \cdot i = K_4 \cdot K_2 \cdot u_d =$$
$$= K_4 \cdot K_2 \cdot K_1\left(\theta_i + \theta_e\right) = K\left(\theta_i + \theta_e\right) \quad (1.9.15)$$

$$K\left(\theta_i - \theta_e\right) = J\frac{d^2\theta_e}{dt^2} + D\frac{d\theta_e}{dt} \quad (1.9.16)$$

$$J\frac{d^2\theta_e}{dt^2} + D\frac{d\theta_e}{dt} + K\theta_e = K\theta_i \quad (1.9.17)$$

care este ecuația ce descrie funcționarea *SA* de urmărire a poziției unghiulare.

Se împarte la J și se obține:

$$\frac{d^2\theta_e}{dt^2} + \frac{D}{J}\frac{d\theta_e}{dt} + \frac{K}{J}\theta_e = \frac{K}{J}\theta_i \quad (1.9.18)$$

$$\frac{d^2\theta_e}{dt^2} + 2\xi\omega_n\frac{d\theta_e}{dt} + \omega_n^2\theta_e = \omega_n^2\theta_i \quad (1.9.19)$$

în care:

ξ - este factorul de amortizare;

ω_n - pulsația sistemului.

Ecuația diferențială de ordinul 2 neomogenă, cu coeficienți constanți 1.9.19 are soluția sub forma generală:

$$\theta_e\left(t\right) = \theta_{et}\left(t\right) + \theta_{es} \quad (1.9.20)$$

Integrarea ecuației 1.9.13 conduce la soluția 1.9.20 în care interesează componenta tranzitorie $\theta_{et}(t)$.

Variația $\theta_{et}(t)$ în funcție de factorul de amortizare ξ este dată în fig. IV.1.20.

$$\theta_{et} = 1 - \frac{e^{-\xi\omega nt}}{\sqrt{1-\xi^2}}\sin\left[\omega_n\left(\sqrt{1-\xi^2}\right)t + \varphi\right] \quad (1.9.19)$$

Din fig. IV.1.20 rezultă că răspunsul *SA* depinde de factorul de amortizare ξ. Dacă $\xi = 0$ atunci *SA* este oscilatoriu neamortizat (la limita de stabilitate - din punct de vedere practic este instabil). Pentru $0 < \xi < 1$ răspunsul este oscilatoriu amortizat. Pentru $\xi = 1$ și $\xi > 1$ răspunsul este aperiodic și tinde mai repede către anularea regimului tranzitoriu și intră într-un regim permanent de funcționare.

Fizic, în cazul $\xi = 0$ acul indicator P2 își va modifica continuu poziția în jurul $\theta_e = \theta_i$. În cazul $0 < \xi < 1$ acul P2 va da indicații într-o parte și alta a poziției $\theta_e = \theta_i$ cu amplitudine din ce în ce mai mică până când acul se va stabiliza la $\theta_e = \theta_i$. În cazul $\xi \geq 1$ acul indicator al P2 va pleca de la poziția inițială și se va opri la $\theta_e = \theta_i$. În cazul prezentat nu s-a luat în considerare eroarea $\theta_i - \theta_e$; se presupune că acesta este suficient de mică.

IV. Automatizări

Capitolul 2
Elemente de automatizare

2.1. Traductoare

Traductorul este elementul de automatizare care transformă o mărime de o anumită natură fizică într-o mărime de altă natură fizică. În general, o mărime neelectrică într-o mărime electrică. Traductorul este alcătuit dintr-un detector şi un adaptor (fig. IV.2.1)

Detectorul transformă mărimea fizică de măsurat x_i (în general, o mărime neelectrică) într-o mărime electrică x_e.

Adaptorul transformă mărimea rezultată de la detector x_e în mărimea x_0 compatibilă cu sistemul automat.

• **Traductoare pentru mişcări de translaţie şi rotaţie**

În automatizări, sunt utilizate frecvent traductoare cu semnal electronic unificat. Acestea sunt alcătuite din elementul sensibil (de măsurare) şi adaptor.

Imprimarea unei deplasări unghiulare α, unui adaptor deplasare unghiulară - curent, conduce la rotirea unui magnet permanent cu unghiul α, într-un miez magnetic toroidal, bobinat, în care apare un curent electric *i*. Prin intermediul unei montări electronice se obţine o dependenţă liniară între *i* şi α respectiv $i = f(\alpha)$. De regulă, semnalul electric este unificat şi este cuprins între 2 şi 10 mA (mai rar 4...20 mA).

Adaptorul deplasare unghiulară - curent este codificat cu indicativul ELT 370 şi sub formă bloc se prezintă ca în fig. IV.2.2.

Adaptoarele deplasare liniară - curent sunt codificate ELT310. O deplasarea liniară Δl este transformată de un convertor mecanic într-o deplasare unghiulară α şi apoi prin intermediul unui adaptor ELT 370 în semnal electric unificat 2...10 mA c.c. (4...20 mA c.c).

Schema bloc este dată în fig. IV.2.3.

Notă:

- Adaptoarele din seria ELT transformă deplasările în semnal unificat 2...10 mA c.c, iar cele din seria FE în semnal electric unificat 4....20 mA c.c.

• **Traductoarele de presiune** au ca element de măsurare tubul Bourdon, clopotul, capsula, burduful elastic şi cristalul piezoelectric.

Traductorul de presiune cu cristal piezoelectric (fig. IV.2.4)

Dacă se acţionează cu o forţă

$$F = pA = kQ = kUC \quad (2.1.1)$$

rezultă ca semnal o tensiune:

$$U = \frac{F}{Ck} \quad (2.1.2)$$

În care:

p - este presiune;

A - suprafaţa;

Q - cantitatea de electricitate înmagazinată într-un condensator de capacitate *C*;

U - tensiunea ce apare la borne;

k - constantă.

• **Traductoarele de nivel** sunt de tip rezistiv, inductiv, capacitiv etc.

În fig. IV.2.5 este prezentată schema de principiu a unui traductor rezistiv. Plutitorul *P* urmăreşte nivelul apei, ceea ce conduce la deplasarea liniară a cursorului *C* pe rezistenţa *R*. Ca urmare, odată cu creşterea h a nivelului creşte şi rezistenţa electrică cuprinsă între *a* şi *c*. Deci.

$$R = f(h) \quad (2.1.3)$$

În fig. IV.2.6 este arătat un traductor de nivel inductiv cu deplasare unghiulară.

Variaţia *h* se transformă într-o variaţie a unghiului α. Dacă variaţia unghiulară α este aplicată unui selsin generator, ea se transmite unui selsin motor care indică direct *h*.

Traductorul de tip capacitiv se bazează pe evidenţierea mărimii *h* în funcţie de capacitatea *C* formată dintr-un electrod introdus în lichidul al cărui nivel trebuie măsurat şi rezervorul respectiv.

• **Traductoare de debite**

Sunt de tip magnetoelectric, cu diafragmă, de inducţie, rotametric, cu ultrasunete.

Traductoarele de tip magnetoelectric sau *tip turbină* se montează pe traseul conductei în care trebuie măsurat debitul $\dot{V}$ (fig. IV.2.7).

Debitul ce trece prin conductă roteşte sistemul format din elicea 1 şi magnetul permanent 2 montate pe axul 3 cu turaţia *n*. Prin rotirea magnetului permanent 2 cu turaţia *n*, în bobina 4 se induce o tensiune electromotoare *e* proporţională cu *n*, respectiv cu $\dot{V}$.

$$e = f(n) = g(\dot{V}) \quad (2.1.4)$$

Traductorul cu inducţie se utilizează la lichide cu rezistivitate electrică mai mică de 100 μΩ/cm. Pe conductă se montează detectorul prin intermediul unor flanşe (fig. IV.2.8).

Detectorul este format dintr-un tub diamagnetic (protejat la interior cu un

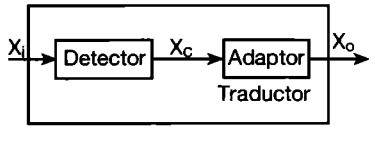


Fig. IV.2.1 Schema bloc a unui traductor.

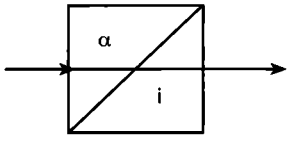


Fig. IV.2.2 Schema bloc a unui adaptor ELT 370.

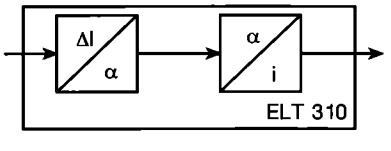


Fig. IV.2.3 Schema bloc a unui adaptor ELT 310.

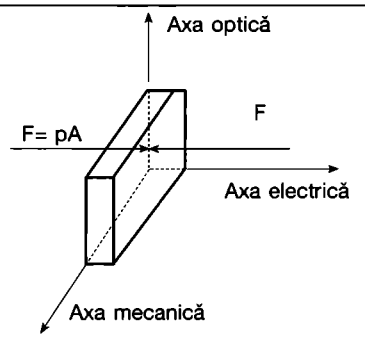


Fig.IV.2.4. Traductor de presiune ce utilizează efectul piezoelectric.

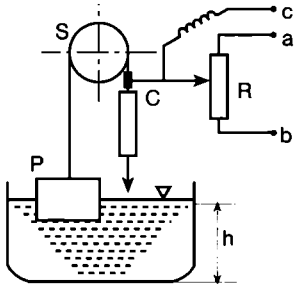


Fig. IV.2.5. Traductor de nivel rezistiv.

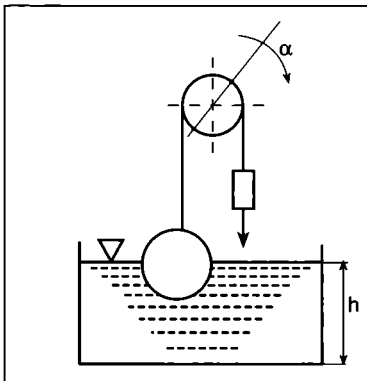


Fig. IV.2.6. Traductor de nivel inductiv.

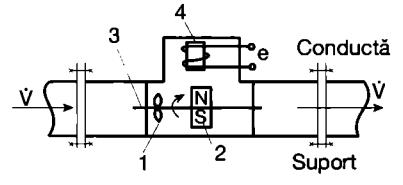


Fig. IV.2.7. Traductor de tip magnetoelectric.

strat de teflon, pentru a rezista la temperaturi ridicate şi lichide corosive) plasat într-un câmp de inducţie B (fig. IV.2.9).

Datorită deplasării lichidului cu viteza *v* în conductă şi prin, în câmpul magnetic *B*, în masa lichidului se induce o tensiune electromotoare *e* care este culeasă prin intermediul electrozilor *a* şi *b*.

$$e = Blv \qquad (2.1.5)$$

în care:

l - este diametrul tubului.

Sub forma bloc, detectorul (DEM) transformă $\dot{V}$ în *e*. În practică, aceste detectoare sunt cunoscute prin notaţia FE 800. Detectorului i se ataşează un adaptor tensiune - curent tip FE - 96, care furnizează la ieşire *i = 2...10* mA c.c. (*4...20* mA c.c.) proporţional cu $\dot{V}$.

• Traductoare de temperatură

Funcţionează pe principiul dilatării, al variaţiei rezistenţei electrice cu temperatura, al producerii tensiunii termoelectromotoare şi al radiaţiei.

Pe principiul dilatării sunt utilizate atât solidele (bimetalul), lichidele (termometre manometrice) cât şi gazele (termometre manometrice).

Bimetalul este constituit din două metale cu coeficienţi de dilatare diferiţi, ceea ce determină transformarea variaţiei temperaturii într-o deplasare *d* (fig. IV.2.10).

Termometrele manometrice cu lichid se bazează pe dilatarea unui lichid (glicerină, clorură de etil etc.) care se află în rezervorul termic (bulb) când creşte temperatura. Prin dilatarea lichidului, se creează presiune, care prin intermediul tubului capilar o transmite unui tub Bourdon, obţinându-se astfel transformarea presiunii într-o deplasare unghiulară α dată de acul indicator pe scala aparatului.

Termometrele manometrice cu gaz diferă numai prin rezervorul termic în care există gaz (Ar, CO_2, N_2 etc.) care se dilată puternic cu temperatura.

Pe principiul variaţiei rezistenţei electrice cu temperatura sunt utilizate metale (termorezistenţe) şi semiconductoare (termistoare).

Termorezistenţele (fig. IV.2.11) au ca element sensibil o rezistenţă electrică din Cu sau Pt montată într-o teacă de oţel OLT 45 sau oţel inoxidabil. Domeniul de funcţionare este -200...+500°C. Rezistenţa electrică corespunzătoare unei temperaturi θ este:

$$R_\theta = R_0(1 + \alpha\theta + \beta\theta^2 + \gamma\theta^3) \qquad (2.1.6)$$

în care:

α, β, γ - sunt coeficienţi specifici formei şi materialului;

R_0 - rezistenţa electrică la 0°C.

Dacă este necesar, la ieşirea semnalului electric unificat 2...10 mA c.c. se utilizează adaptoare rezistenţă-curent.

Termistoarele au formă cilindrică şi sunt confecţionate din oxizi, carburi sau sulfuri. Domeniul de funcţionare este -100....+400°C. Rezistenţa electrică corespunzătoare unei temperaturi θ este:

$$R_\theta = R_0 e^{-\beta\theta} \qquad (2.1.7)$$

în care:

β - este un coeficient ce depinde de material.

Pe principiul producerii tensiunii termoelectromotoare (ttem) sunt utilizate termocuplurile (fig. IV.2.12).

Termocuplul este constituit din două metale de natură diferită sudate la un capăt. Cele două metale pot fi:
fier - constantan (0...500°C);
cromel - alumel (0...1000°C);
platin - platin rhodiu (0...1200°C);
platin-platin rhodiu 13 % (0...1400°C);
platin-platin rhodiu 18% (0...1600°C).

Când cele două capete sunt la temperaturi diferite, în circuitul astfel format apare o tensiune *e* de natură termoelectrică numită termoelectromotoare (ttem). Deoarece nu se cunoaşte cu exactitate expresia analitică a ttem, în funcţie de proprietăţile materialului celor două conducte şi de temperatură, se întocmesc tabele, unde în funcţie de temperatura T_2 = constantă a extremităţii conductoarelor şi cunoscând ttem *e* produsă de termocuplu (se măsoară cu milivoltmetrul) se obţine temperatura punctului de joncţiune T_1 a termocuplului:

$$T_1 = f(e) \text{ pentru } T_2 = \text{const} \qquad (2.1.8)$$

Elementul sensibil (termocuplul) se introduce într-o teacă de protecţie din OLT 45, oţel inoxidabil, oţel refractar sau teacă ceramică.

Pentru obţinerea la ieşire a unui semnal electric unificat 2...10 mA c.c. se utilizează adaptoare tensiune-curent.

Pe principiul radiaţiei termice sunt *pirometrele cu radiaţie* ce au la bază legea radiaţiei corpului negru. Radiaţia termică este focalizată printr-un sistem optic într-un focar în care se află o baterie de termocupluri. La ieşire se obţine o tensiune de ordinul milivoltilor. Pirometrele cu radiaţie sunt utilizate în domeniul 600...2000°C.

• Traductoare de umiditate

Funcţionează pe principiul modificării lungimii firului de bumbac, al termometrului uscat (psihrometric) sau al utilizării clorurii de litiu.

Pe principiul modificării lungimii firului de bumbac se transformă variaţia umidităţii într-o variaţie a lungimii acestuia.

Traductoarele de umiditate ce funcţionează pe principiul termometrului uscat au la bază utilizarea a două termorezistenţe TR 1 (termometru uscat) şi TR 2 (termometru umed) montate într-o

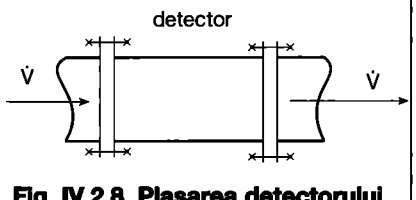


Fig. IV.2.8. Plasarea detectorului traductorului cu inducţie.

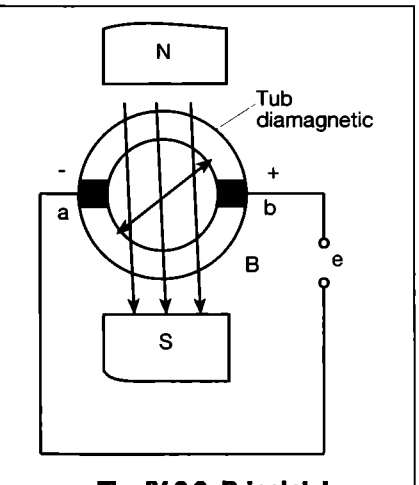


Fig. IV.2.9. Principiul de funcţionare al traductoarelor cu inducţie.

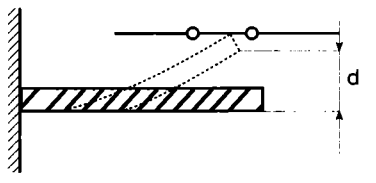


Fig. IV.2.10. Bimetalul.

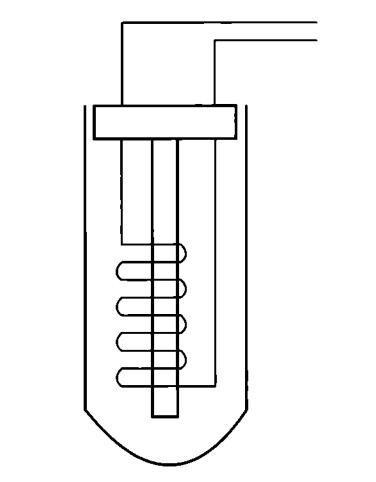


Fig. IV.2.11. Termorezistenţă.

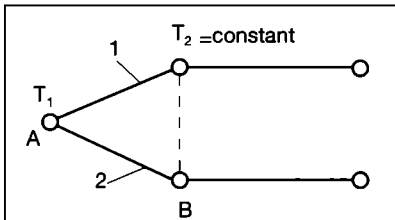


Fig. IV.2.12. Termocuplu.

punte (fig. IV.2.13). TR 2 este alimentată permanent cu apă prin capilaritate din rezervorul de apă 1. Ventilatorul 2 vehiculează aer peste TR 1 şi TR 2. Dar TR 2 are umiditatea φ = 100% pe când TR 1 are umiditatea aerului vehiculat. Apare un dezechilibru care este transmis prin intermediul punţii la un amplificator sensibil la fază 3. În funcţie de sensul curentului pe bobina de ieşire L2, motorul electric bifazat 4 se va roti în mod corespunzător. Prin intermediul reductorului de turaţie 5, se deplasează acul indicator 6 pe scala 7 şi, concomitent, se deplasează cursorul potenţiometrului de reacţie 8 (fig. IV.2.13).

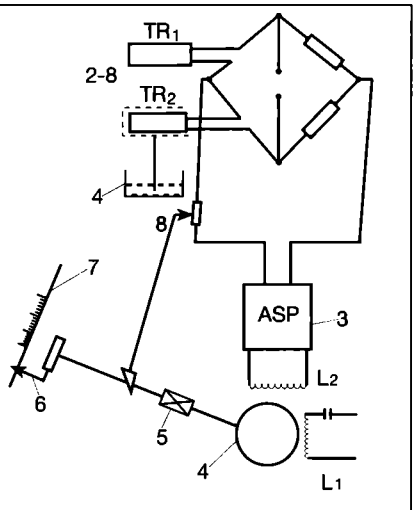


Fig. IV.2.13. Traductor de umiditate ce funcţionează pe principiul termometrului uscat.

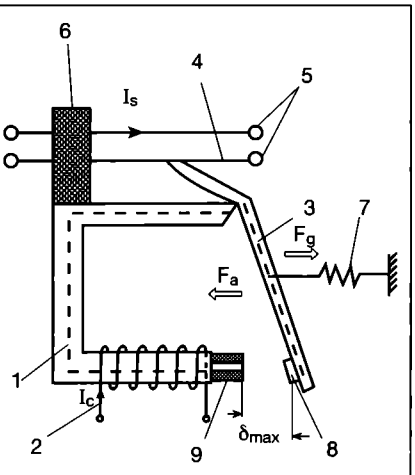


Fig. IV.2.14. Releu electromagnetic cu palete.

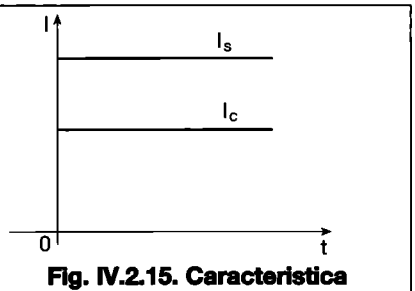


Fig. IV.2.15. Caracteristica de amplificator a releului.

2.2. Elemente de comandă. Convertoare

Releul electromagnetic cu paletă (fig. IV.2.14).

Principiul elementului de comandă este cel al releului electromagnetic. Dacă I_c = 0, contactele 5 sunt deschise datorită forţei antagoniste F_g creată de arcul 7. Dacă bobinei 2 montată pe miezul magnetic 1 i se aplică un curent de comandă I_c, prin miezul magnetic 1 apare un flux magnetic Φ care produce o forţă de atracţie F_a în întrefierul δ. Ca urmare se produce o accelerare a paletei 3, F_a fiind mai mare decât forţa antagonistă dată de arc F_g.

$$F_a > F_g \qquad (2.2.1.)$$

în sensul anulării, concomitent cu acţionarea unei lame elastice 4 fixată pe piesa izolantă 6, ce conduce la închiderea contactelor 5, respectiv la închiderea circuitului prin care circulă curentul de sarcină I_s. Pastila 8 are rolul de a menţine δ minim, care să permită arcului 7 să aducă paleta la poziţia iniţială (δ max.) când I_c = 0. Dacă δ ar fi fost zero, datorită magnetismului remanent paleta nu ar mai fi revenit.

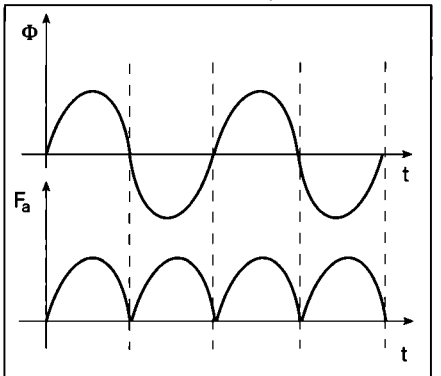


Fig. IV.2.16. Variaţia Φ şi F_a fără spiră în scurtcircuit.

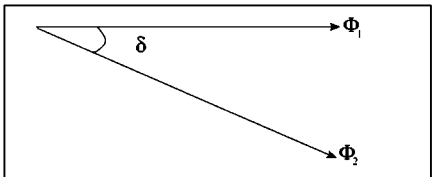


Fig. IV.2.17. Defazajul creat de spiră în scurtcircuit.

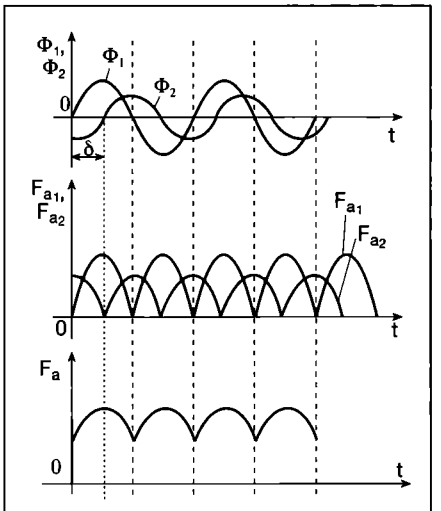


Fig. IV.2.18. Variaţiile fluxurilor şi forţelor cu spira în scurtcircuit.

Deoarece un curent de comandă mic, I_c poate determina închiderea unui circuit de sarcină prin care circulă un curent mare I_S ($I_s > I_c$) releul are o caracteristică de amplificator tip releu (fig. IV.2.15). Când apare semnal de comandă $I_c \neq 0$ releul funcţionează, iar când I_c = 0 revine la poziţia de zero (are o singură poziţie stabilă caracteristică unui circuit monostabil).

În c.a. miezul este realizat cu tole din oţel electrotehnic. Variaţia Φ şi a forţei de atracţie F_a ar trece de o sută de ori pe secundă prin zero (fig. IV.2.16) ceea ce ar conduce la vibraţia contactelor.

$$F_a = f(\Phi^2) \qquad (2.2.2)$$

Pentru a evita aceasta pe miez se montează o spiră în scurtcircuit 9. Această spiră produce un flux magnetic Φ_2 defazat în urmă faţă de Φ_1 (fig. IV.17). Fiecare flux Φ_1 şi Φ_2 produce câte o forţă de atracţie respectiv F_{a1} şi F_{a2} care dau o forţă de atracţie rezultantă F_a, care nu mai trece prin zero (fig. IV.2.18).

Releul electromagnetic cu plonjor (fig. IV.2.19).

În momentul în care bobina 1 este parcursă de curentul *Ic* se creează o forţă de atracţie F_a, care atrage plonjorul 2 determinând închiderea sau deschiderea unor contacte. Prin închiderea circuitelor de sarcină contactate sunt parcurse de curenţii de sarcină I_{s1}, I_{s2}, I_{s3}, I_{s4}.

Când bobina 1 nu este sub tensiune contactele 1-2 şi 5-6 sunt contacte normal deschise (cnd), iar 3-4 şi 7-8 sunt contacte normal închise (cnî). Când bobina 1 este parcursă de curentul I_c cnd devin cnî şi invers.

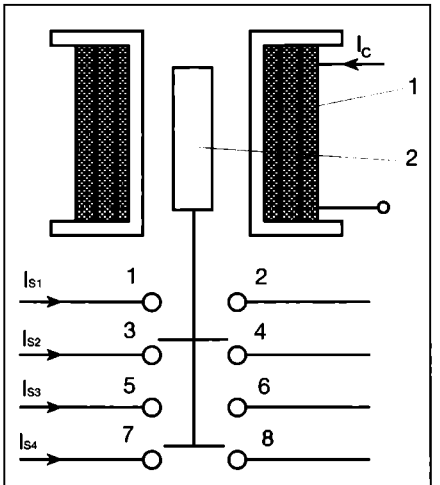


Fig. IV.2.19. Releu electromagnetic cu plonjor.

Releele de acest tip sunt utilizate pentru multiplicarea de contacte și sunt cunoscute sub denumirea de relee intermediare.

Simbolul releelor în schemele de comandă este dat în fig. IV.2.20.

Releele de timp sunt relee electromagnetice care acționează contactele cu o întârziere oarecare. Întârzierea se realizează prin mecanisme de ceasornic, circuite RC etc. Contactele releelor de timp pot fi cu temporizare la închidere (*ti*) sau cu temporizare la deschidere (*td*).

Releele de timp sunt cu temporizare la acționare și cu temporizare la revenire.

Contactele releelor se simbolizează ca în fig. IV.2.21.

Convertoare

În fig. IV.2.22, este prezentat un convertor electropneumatic.

Practic, conversia este realizată în două trepte (curent-deplasare și deplasare-presiune).

Convertorul curent-deplasare are la bază utilizarea: unui electromagnet polarizat format din miezurile feromagnetice M1 și M2, voletul 1, care oscilează în jurul punctului 0 și magneții permanenți 2, 3. Când voletul este pe poziție mediană, arcul 4 este netensionat.

Dacă $i \approx 0$ asupra voletului acționează numai câmpul de polarizare produs de 2 și 3. Cum magneții 2 și 3 sunt identici, fluxurile de polarizare Φ_p sunt egale. Întrefierul $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = \delta$ și voletul rămâne în continuare pe poziția mediană. Dacă $i > 0$ voletul devine electromagnet.

Fluxul produs de curentul $i \rightarrow \Phi_i$ se împarte în fluxurile Φ_1 și Φ_2.

În intrefierul δ_2 va exista fluxul $\Phi_p + \Phi_1$.

În întrefierul δ_1 va exista fluxul $\Phi_p - \Phi_2$.

În întrefierul δ_3 va exista fluxul $\Phi_p + \Phi_2$ iar întrefierul δ_4 va exista fluxul $\Phi_p - \Phi_1$.

Corespunzător fluxurilor vor apărea forțele: $F_1(\delta_1)$, $F_2(\delta_2)$, $F_3(\delta_3)$, $F_4(\delta_4)$ deoarece $F_2 > F_1$ și $F_3 > F_4$ voletul se va roti în sensul acelor de ceasornic cu un unghi α, respectiv va modifica δ_5. Deci s-a realizat prima treaptă de conversie a curentului i în deplasarea în δ_5.

Acest moment activ este echilibrat de momentul rezistent creat de arcul 4. Astfel curentul de 2...10 mA c.c. este convertit într-o deplasare liniară δ_5 sau unghiulară α.

Dacă voletul 1 s-a rotit spre dreapta, δ_5 se micșorează și ca urmare sistemul duză 5 - paletă 6 a intrat în acțiune. Micșorându-se δ_5 iese mai puțin aer prin duza 5 și mai mult pe Pc. Când duza este închisă complet ($\delta_5 = 0$) atunci Pc = 1 bar; când duza este deschisă complet ($\delta_5 = \delta_{5max}$) Pc = 0,2 bar.

Duza 5 împreună cu paleta 6 acționată de voletul 1, lucrează ca o rezistență pneumatică variabilă.

Ajutajul 7 este o rezistență pneumatică fixă care asigură în elementul de comandă 8 o presiune de 1 bar.

Deci prin modificarea mărimii δ_5 se obține o modificare a Pc (fig. IV.2.23), realizându-se astfel o a doua treaptă de conversie. Montajul (fig. IV.2.24) realizează la variația *i*, variația Pc. Când i = 2 mA c.c. corespunde Pc = 0,2 bar, iar la i = 10 mA c.c. corespunde Pc = 1 bar.

2.3. Regulatoare

Sub formă de bloc sunt reprezentate ca în fig. IV.2.25. În componența regulatoarelor sunt cuprinse comparatoarele (comp), amplificatoarele *A* și elementele de comandă *C*.

Comparatoarele (comp.) funcționează pe principiul punții (fig. IV.2.26) și al opoziției (fig. IV.2.27).

Dacă $W(t) = y_r(t)$ atunci $\varepsilon(t) = 0$ (2.3.1)

Aceasta rezultă din ecuația punții

$R_1 R_{yr} = R_2 R_W$ (2.3.2)

Pentru $R_1 = R_2$ rezultă $R_{yr} = R_W$

Aceasta numai dacă $W(t) = y_r(t)$

Dacă $W(t) \neq y_r(t)$ apare o diferență

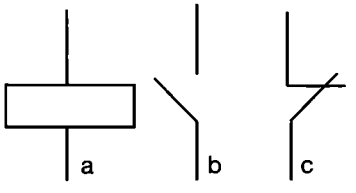


Fig. IV.2.20. Simbolul releului electromagnetic:
a - bobina releului;
b - contact normal deschis;
c - contact normal închis.

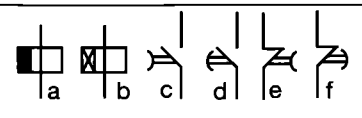


Fig. IV.2.21. Reprezentări ale releelor de timp în scheme:
a - bobina releului cu temporizare la revenire; b - bobina releului cu temporizare la acționare; c - contact normal deschis cu temporizare la deschidere; d - contact normal deschis cu temporizare la închidere; e - contact normal închis cu temporizare la deschidere; f - contact normal înschis cu temporizare la închidere.

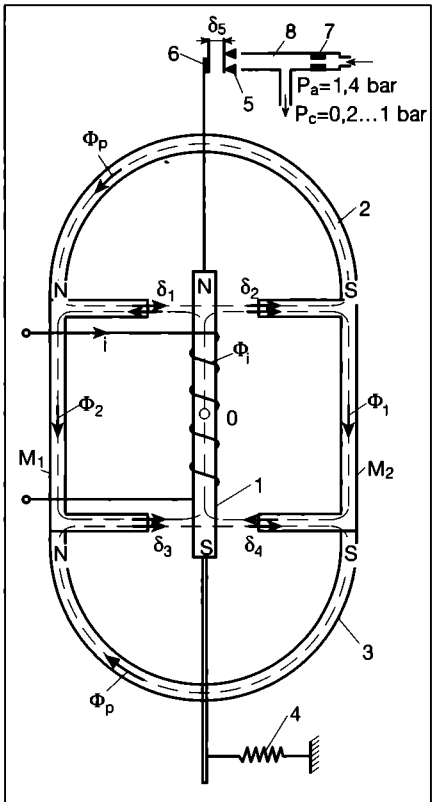


Fig. IV.2.22. Convertor electropneumatic.

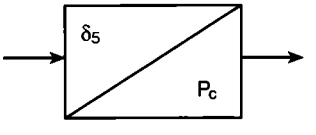


Fig. IV.2.23. Schema bloc a convertorului deplasare - presiune de comandă.

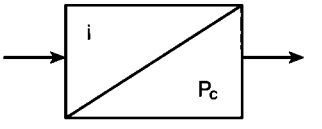


Fig. IV.2.24. Schema bloc a convertorului curent - presiune de comandă.

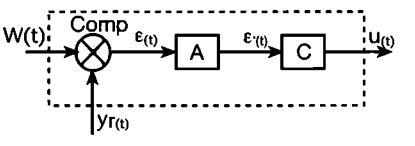


Fig. IV.2.25. Reprezentarea regulatorului automat sub formă bloc.

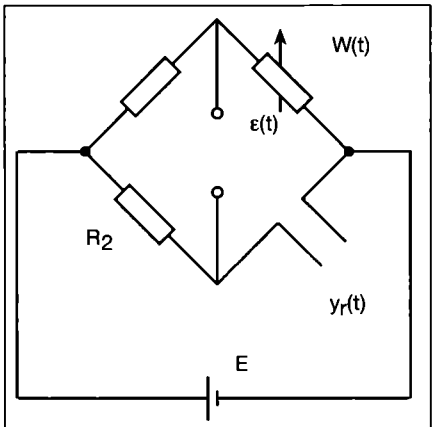


Fig. IV.2.26. Comparator ce funcționează pe principiul punții.

dată de ecuația comparatorului:

$\varepsilon(t) = W(t) - y_r(t) \neq 0$ (2.3.3)

Semnalul de abatere $\varepsilon(t)$ poate fi mai mare, egal sau mai mic decât zero

$\varepsilon(t) \gtreqless 0$ (2.3.4)

În cazul conectării a două surse în serie, tensiunea este dată de suma tensiunilor electromotoare a celor două surse $E = E_1 + E_2$. În cazul conectării opoziției acestea se scad $E = E_1 - E_2$.

Amplificatoare

Tensiunea u_i aplicată T_i este amplificată și inversată la ieșirea primului etaj. Tensiunea de ieșire de la primul etaj este aplicată la intrarea etajului al doilea. La ieșirea etajului al doilea se obține tensiunea de ieșire u_c, care reproduce tensiunea aplicată la intrarea u_i cu amplificarea corespunzătoare. Un asemenea amplificator se prezintă sub formă de bloc ca în fig. IV.2.28.

În fig. IV.2.29 este arătat principiul de funcționare a unui amplificator sensibil la fază. Rezultă că atunci când u_i are sensul, de exemplu, din fig. IV.2.29 b atunci apare curentul i' în bobina L_1 și motorul electric M se rotește în sensul (1). Dacă u_i este defazat cu 180°, apare curentul i'' în bobina L_2 și motorul electric M se rotește în sensul (2) - inversează sensul de rotație. Deci amplificatorul sensibil la fază în funcție de sensul u_i dă comanda de rotire a motorului electric M într-un sens sau celălalt. Tensiunea u_i este de fapt $\varepsilon(t)$ care este furnizată de comparator. Dacă $\varepsilon > 0$ apare i' și M se rotește într-un sens, dacă $\varepsilon < 0$ apare i'' și M se rotește în sens invers. Dacă $\varepsilon = 0$ atunci M rămâne pe poziția existentă.

Dacă în locul L_1 și L_2 se montează bobinele unor relee intermediare, rezultă că ieșirea se va face pe contacte, pe un releu sau pe celălalt, în funcție de $\varepsilon(t)$.

Regulatoarele se clasifică după:

- modul de transmitere a comenzii: *directe* sau *indirecte*; cele *directe* funcționează fără energie auxiliară;
- viteza de răspuns: *lente* și *rapide*; sunt considerate lente cele la care timpul de răspuns este egal sau mai mare de 10 s;
- caracterul prelucrării semnalului: *continue* sau *liniare, neliniare, discrete* sau cu eșantionare, *numerice* și *logice;*
- caracteristicile constructive: *specializate* și cu semnal *unificat;*
- agentul purtător de semnal: *electrice, pneumatice, hidraulice;*
- numărul mărimilor de ieșire: *monovariabile* și *multivariabile.*

Regulatorul de tip liniar

Are la bază utilizarea amplificatoarelor operaționale și a unor elemente de corecție operaționale. Amplificatoarele operaționale sunt amplificatoarele de c.c. cu factor de amplificare negativ - K_u de valoare mare - $K_u \rightarrow 10^5 \ldots 10^6$ și impedanță de intrare Z mare.

Se consideră că Z și K_u tind către infinit. Elementele de corecție operațională sunt constituite din impedanțele operaționale de pe circuitul de intrare Z_1 și reacție Z_2. Schema generală este dată în fig. IV.2.30

$$Z(s) = \frac{U(s)}{I(s)} \quad (2.3.5)$$

$$Z_R(s) = \frac{U(s)}{I(s)} = R \quad (2.3.6)$$

$$Z_C(s) = \frac{U(s)}{I(s)} = \frac{U(s)}{sCU(s)} = \frac{1}{sC} \quad (2.3.7)$$

$$i = C\frac{du}{dt};\ I(s) = sCU(s) \quad (2.3.8)$$

$$-K_U = \frac{U_2(s)}{U_0(s)} \rightarrow U_0(s) = -\frac{U_2(s)}{K_U} \cong 0 \quad (2.3.9)$$

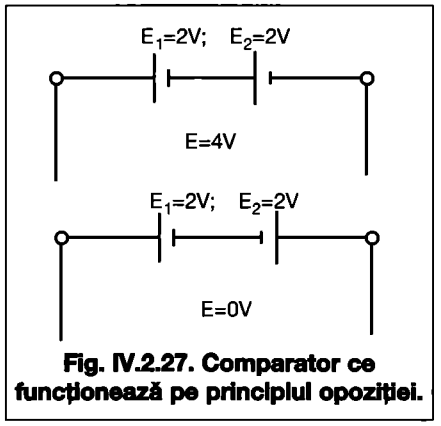


Fig. IV.2.27. Comparator ce funcționează pe principiul opoziției.

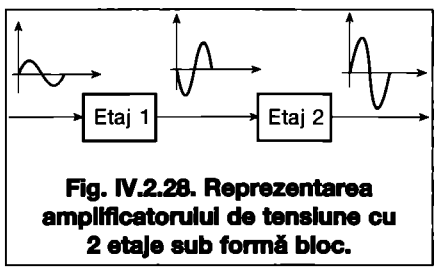


Fig. IV.2.28. Reprezentarea amplificatorului de tensiune cu 2 etaje sub formă bloc.

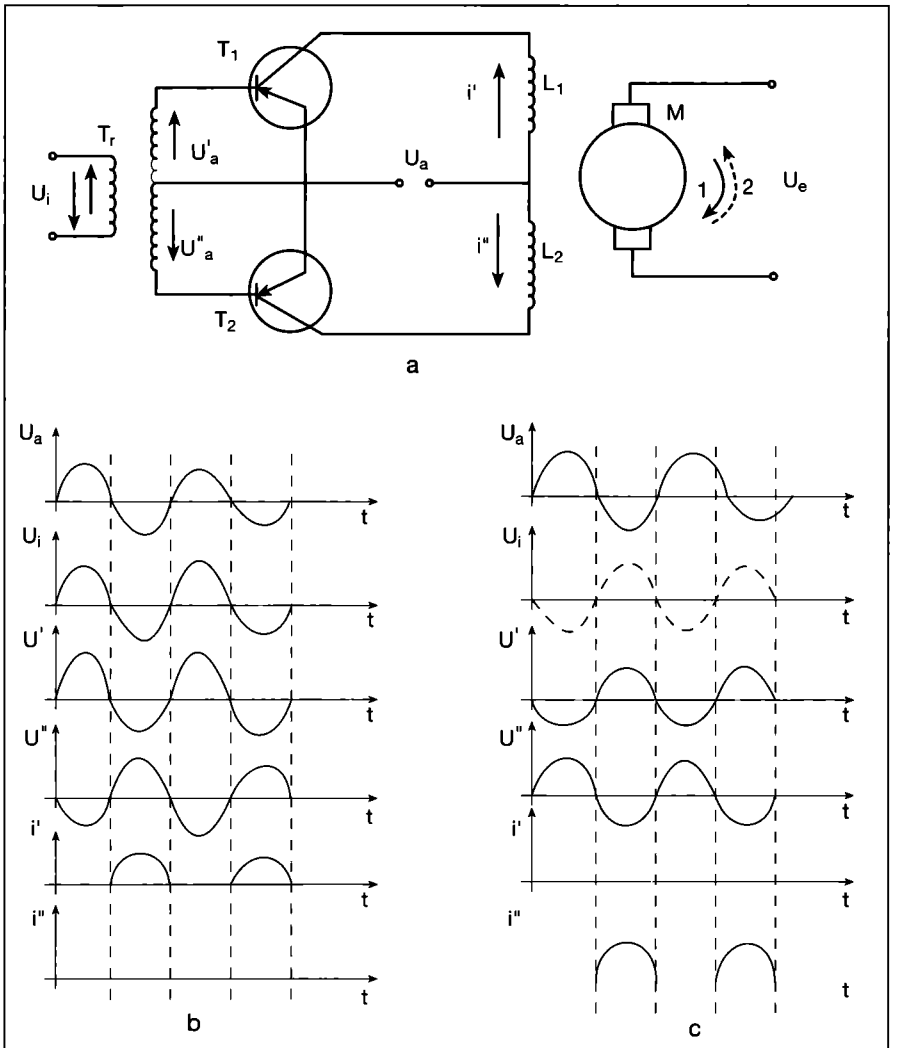


Fig. IV.2.29. Amplificator sensibil la fază:
a - schema electrică; b - diagrama de semnale pentru U_i figurat cu linie continuă; c - diagrama de semnale pentru U_i figurat cu linie întreruptă.

$$Z \to \infty \to i_3 \to 0 \text{ deci } i_1 \cong i_2 \quad (2.3.10)$$

$$\frac{U_1(s) - U_0(s)}{Z_1(s)} = \frac{U_0(s) - U_2(s)}{Z_2(s)} \quad (2.3.11)$$

$$U_2(s) = \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)} U_1(s) \quad (2.3.12)$$

Prin particularizarea impedanțelor Z_1 și Z_2 se obțin regulatoare liniare de diferite tipuri.

1. *Regulatorul de tip proporțional P* (fig. IV.2.31)

$$Z_1(s) = R_1 \quad Z_2(s) = R_2 \quad (2.3.13)$$

Înlocuind în relația 2.3.12 se obține:

$$U_2(s) = -\frac{R_2}{R_1} U_1(s) \quad (2.3.14)$$

Efectuând transformata Laplace inversă rezultă:

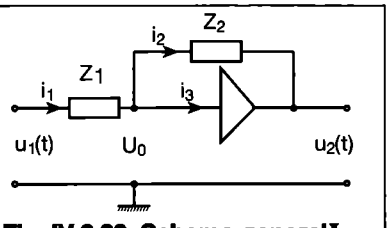


Fig. IV.2.30. Schema generală a unui regulator liniar.

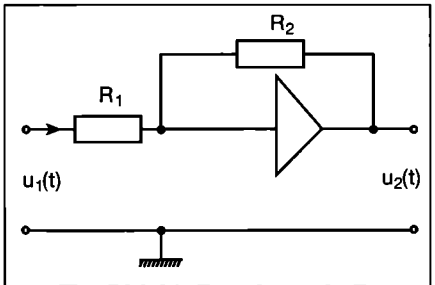


Fig. IV.2.31. Regulator tip P.

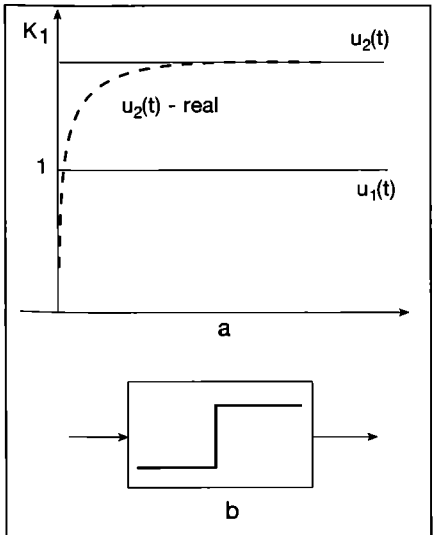


Fig. IV.2.32. Regulatorul tip P:
a - răspunsul regulatorului;
b - simbolul regulatorului.

$$u_2(t) = -\frac{R_2}{R_1} u_1(t) = K_R u_1(t) \quad (2.3.15)$$

Din relația 2.3.15 se observă că u_2 este proporțional cu u_1. Coeficientul de proporționalitate (amplificare) este K_R. Practic K_R = 50...0,5, dar se lucrează cu banda de proporționalitate *BP*

$$BP = \frac{1}{K_R} 100 \frac{\text{domeniul } u_1}{\text{domeniul } u_2} \quad (2.3.16)$$

În cazul utilizării unui semnal unificat, domeniul u_i este identic cu domeniul u_2 și atunci:

$$BP = \frac{1}{K_R} 100 = 2...200 \ \% \quad (2.3.17)$$

Deci semnalul obținut la ieșire u_2 este proporțional cu u_1 (fig. IV.2.32 a). Simbolul regulatorului de tip P este dat în fig. IV.2.32 b.

2. Regulatorul de tip integral I (fig. IV.2.33)

$$Z_1(s) = R_1; \ Z_2(s) = \frac{1}{sC_2} \quad (2.3.18)$$

Înlocuind relația 2.3.12 rezultă:

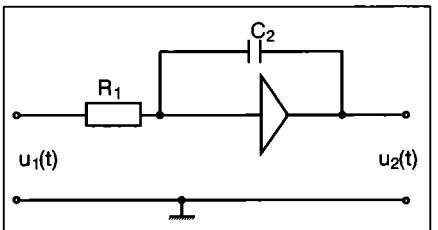


Fig. IV.2.33. Regulatorul tip I.

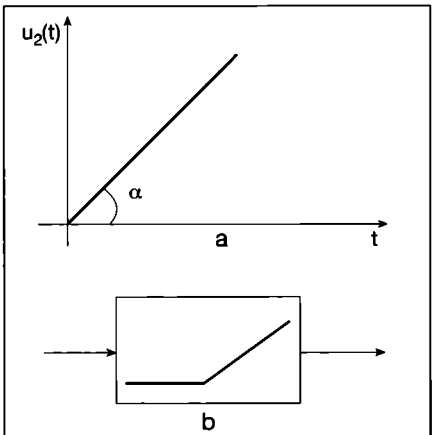


Fig. IV.2.34. Regulatorul tip I:
a - răspunsul regulatorului;
b - simbolul regulatorului.

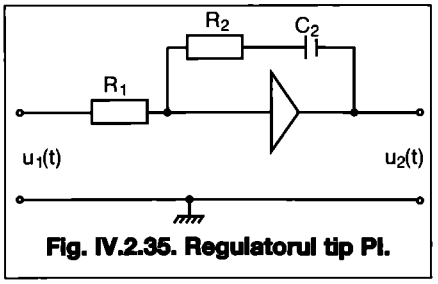


Fig. IV.2.35. Regulatorul tip PI.

$$U_2(s) = -\frac{\frac{1}{sC_2}}{R_1} U_1(s) = \frac{1}{sR_1C_2} U_1(s) \quad (2.3.19)$$

$$u_2(t) = -\frac{1}{T_i} \int u_1(t) dt \quad (2.3.20)$$

Caracteristica acestui regulator este constanta de timp:

$$T_i = R_1 C_2 \quad (2.3.21)$$

În cazul aplicării la intrare a unui semnal treaptă $u_i(t) = 1$ răspunsul este ca în fig. IV.2.34 a.

$$tg\alpha = \left.\frac{du_2}{dt}\right|_{t=0} = \left.\frac{1}{T_i} u_1(t)\right|_{t=0} = \frac{1}{T_i} \quad (2.3.22)$$

$\alpha = arctg\ 1/T_i$

Simbolul este dat în fig. IV.2.34 b.

3. Regulatorul tip proporțional - integral PI (fig. IV.2.35)

$$Z_1(s) = R_1$$

$$Z_2(s) = R_2 + \frac{1}{sC_2} \quad (2.3.23)$$

$$U_2(s) = -\frac{R_2 + \frac{1}{sC_2}}{R_1} U_1(s) =$$

$$= -\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_1} \frac{1}{sC_2}\right) U_1(s) = \quad (2.3.24)$$

$$= -\left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{sR_1 C_2}\right)$$

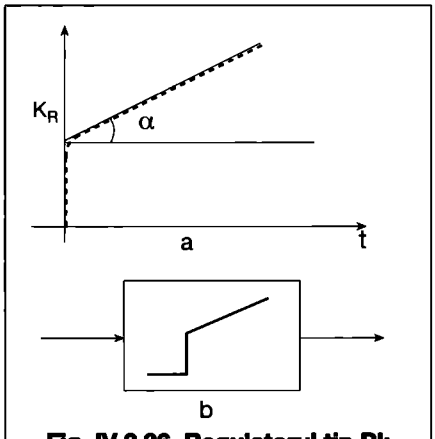


Fig. IV.2.36. Regulatorul tip PI:
a - răspunsul regulatorului;
b - simbolul regulatorului.

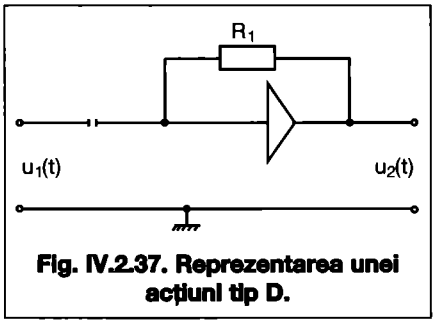


Fig. IV.2.37. Reprezentarea unei acțiuni tip D.

$$u_2(t) = -\frac{R_2}{R_1}u_1(t) - \frac{1}{T_i}\int u_1(t)\,dt = \\ = K_R\left[u_1(t) + \frac{1}{T_1}\int u_1(t)\,dt\right]$$

(2.3.25)

Parametrii regulatorului sunt K_R și T_i. Răspunsul unui asemenea regulator la un semnal treaptă unitară ca în fig. IV.2.36 a.

$$tg\alpha = \left.\frac{du_2}{dt}\right|_{t=0} = K_R\frac{K_R}{T_i}u_1\Big|_{t=0} = \frac{K_R}{T_i}$$

(2.3.22)

$\alpha = arctg\, K_R/T_1$

Simbolul este dat în fig. IV.2.36 b.

4. Acțiune de tip derivativ D (fig. IV.2.37). Nu pot funcționa astfel de regulatoare (numai cu acțiune *D*).

$$Z_1(s) = \frac{1}{sC_1};\ Z_2 = R_2 \qquad (2.3.18')$$

$$U_2(s) = -\frac{R_2}{\frac{1}{sC_1}}U_1(s) = -sR_2C_1U_1(s)$$

(2.3.27)

$$u_2(t) = T_d\frac{du_1(t)}{dt} \qquad (2.3.28)$$

Răspunsul și simbolul sunt date în fig. IV.2.38.

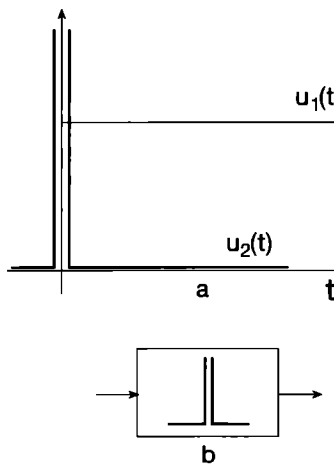


Fig. IV.2.38. Acțiunea de tip D:
a - răspunsul la acțiune;
b - simbolul la acțiune.

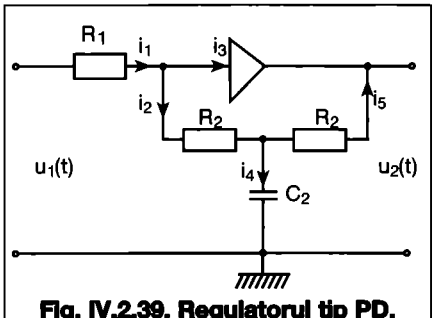


Fig. IV.2.39. Regulatorul tip PD.

5. Regulatorul de tip proporțional - derivativ PD (fig. IV.2.39)

$$\frac{U_1(s)}{R_1} = -\frac{U'(s)}{R_2} \rightarrow U'(s) = -\frac{R_2}{R_1}U_1(s)$$

(2.3.29)

$$i_2 \cong i_1 = i_4 + i_5 \qquad (2.3.30)$$

$$\frac{U_1(s)}{R_1} = -\frac{U'(0)-0}{\frac{1}{sC_2}} + \frac{U'(0)-U_2(s)}{R_2}$$

(2.3.31)

$$U_2(s) = -\left[\frac{2R_2}{R_1}U_1(s) + \frac{sR_2^2C_2}{R_1}U_1(s)\right]$$

(2.3.32)

$$u_2(t) = -\frac{2R_2}{R_1}\left[u_1(t) + \frac{R_2C_2}{2}\frac{du_1(t)}{dt}\right] = \\ = K_R\left[u_1(t) + T_D\frac{du_1(t)}{dt}\right]$$

(2.3.33)

Parametrii sunt K_R și T_D. Răspunsul și simbolul sunt date în fig. IV.2.40.

6. Regulatorul de tip proporțional - integral - derivativ PID (fig. IV.2.41).

Practic este un regulator PD a cărui ieșire devine intrare într-un regulator PI

Ținând seama de relația 2.3.33

$$u_1(t) = -\frac{2R_2}{R_1}\left[u_1(t) + \frac{R_2C_2}{2}\frac{du_1(t)}{dt}\right]$$

(2.3.34)

Ținând seama de relația 2.3.25:

$$u_2(t) = -\frac{R_4}{R_3}u_1 - \frac{1}{R_3C_4}\int u_1'(t)\,dt$$

(2.3.35)

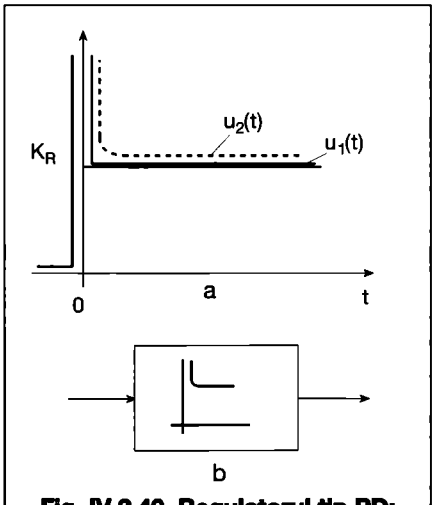


Fig. IV.2.40. Regulatorul tip PD:
a - răspunsul regulatorului;
b - simbolul regulatorului.

$$u_2(t) = \frac{R_4}{R_3}\left\{\frac{2R_2}{R_1}\left[u_1(t) + \frac{R_2C_2}{2}\frac{du_1(t)}{dt}\right]\right\} + \\ + \frac{1}{R_3C_4}\int\frac{2R_2}{R_1}\left[u_1(t) + \frac{R_2C_2}{2}\frac{du_1(t)}{dt}\right]dt = \\ = \frac{2R_2R_4}{R_1R}\left[u_1(t) + \frac{R_2C_2}{2}\frac{du_1(t)}{dt}\right] + \\ + \frac{2R_2}{R_1R_3C_4}\left[\frac{R_2C_2}{2}u_1(t) + \int u_1(t)\,dt\right] = \\ = \frac{2R_2R_4}{R_1R_3}\left[\left(1 + \frac{\frac{R_2C_2}{2}}{R_4C_4}\right)u_1(t)\right] + \\ + \frac{1}{R_4C_4}\int u_1(t)\,dt + \frac{R_2C_2}{2}\frac{du_1(t)}{dt} = \\ = \frac{2R_2R_4}{R_1R_3}\left[\left(1 + \frac{T_D}{T_i}\right)u_1(t) + \right. \\ \left. + \frac{1}{T_i}\int u_1(t)T_D + \frac{d_1(t)}{dt}\right] = \\ = K_R\left[u_1(t) + \frac{1}{T_i}\int u_1(t)\,dt + T_D\frac{du_1(t)}{dt}\right]$$

(2.3.36)

Parametrii sunt K_R, T_1, T_D. Răspunsul și simbolul sunt date în fig. IV.2.42.

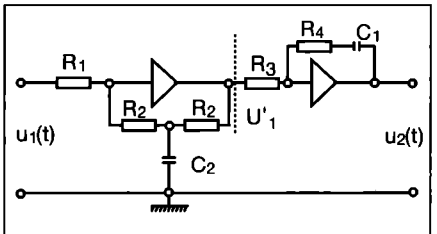


Fig. IV.2.41. Regulatorul tip PID.

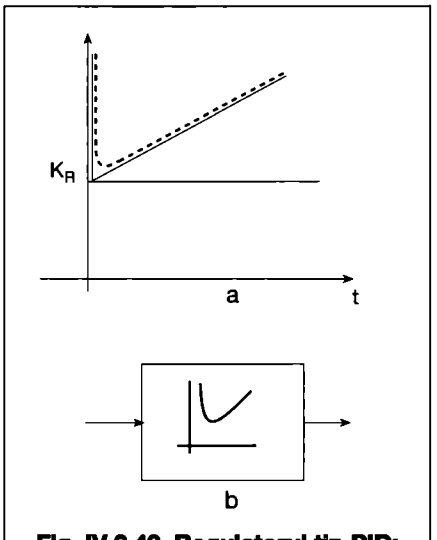


Fig. IV.2.42. Regulatorul tip PID:
a - răspunsul regulatorului;
b - simbolul regulatorului.

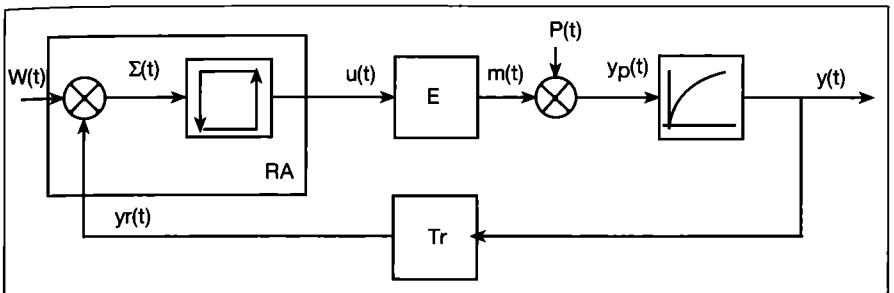


Fig. IV.2.43. Schema bloc a unui SRA în care este inclus un RA neliniar.

• **Regulatoare neliniare**

Au ieşirea pe contacte.

Schema bloc a unui RA neliniar într-un sistem de reglare automat SRA este dată în fig. IV.2.43.

Dependenţa ideală şi reală la un regulator bipoziţional este dată în fig. IV.2.44.

Dependenţa reală este afectată de histerezis.

În fig. IV.2.45 este dată dependenţa ideală şi reală la un regulator tripoziţional.

În fig. IV.2.46 se poate urmări cum are loc reglarea bipoziţională pentru un proces de ordinul I.

Se consideră procesul de ordinul I, un proces de încălzire dat de curba crescătoare, respectiv de răcire dat de curba descrescătoare (fig. IV.2.46 a). Introducând RA bipoziţional la care mărimea de referinţă (prescrisă) este W, la încălzire $u(t)$ va creşte după curba caracteristică procesului, dată de ecuaţia corespunzătoare, până la punctul 2. Procesul de încălzire nu s-a oprit la W ci la $W + \Delta W$, datorită histerezisului. Odată oprită sursa de încălzire va începe răcirea pe o curbă descrescătoare până în punctul 3, când se efectuează o nouă reîncălzire ş.a.m.d. Intervalul $2\Delta W = W_d$ este intervalul de conectare, iar T este perioada. Precizia este determinată de intervalul de conectare W_d. Cu cât W_d este mai mic, cu atât precizia este mai bună, dar frecvenţa de conectare f_c (fig. IV.2.46) este mai mare. Dar mărimea f_c este defavorabilă duratei de funcţionare a regulatorului. Din fig. IV.2.46 se mai poate observa că la procesele cu constanta de timp T_p mică, creşte f_c.

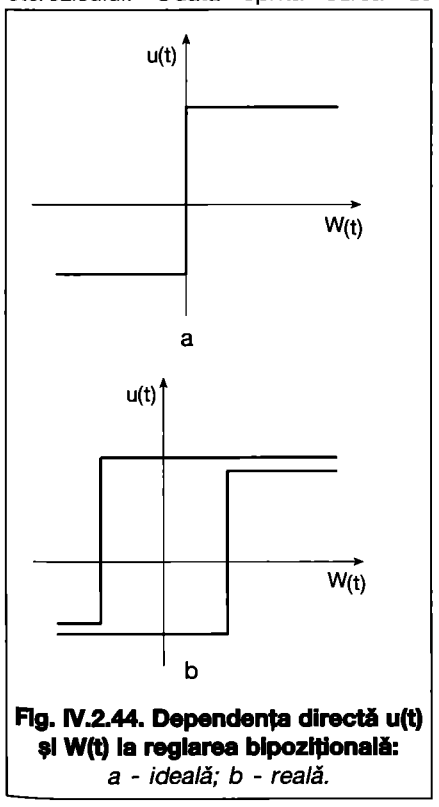


Fig. IV.2.44. Dependenţa directă u(t) şi W(t) la reglarea bipoziţională:
a - ideală; b - reală.

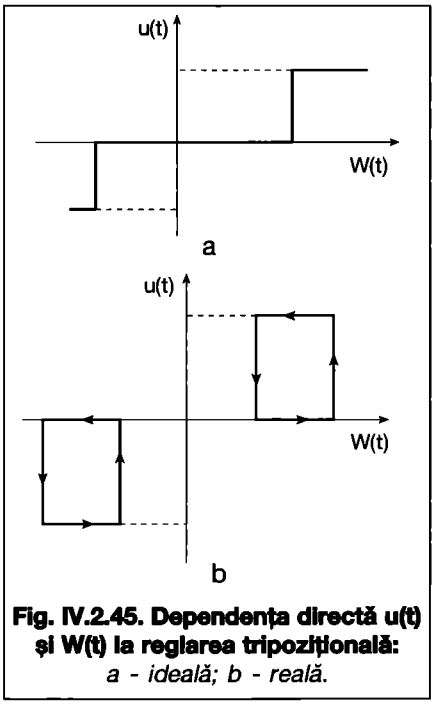


Fig. IV.2.45. Dependenţa directă u(t) şi W(t) la reglarea tripoziţională:
a - ideală; b - reală.

Regulatorul de temperatură - termostatul

Când temperatura mediului în care este imersat elementul sensibil este egală cu cea prescrisă, contactele mobile sunt pe o poziţie neutră. Dacă temperatura măsurată creşte, fluidul din interiorul elementului sensibil se dilată, se creează o presiune şi prin intermediul tubului capilar fluidul provoacă dilatarea burdufului elastic. Forţa provenită de la burduf se compară cu cea determinată de un arc, respectiv de mărimea prescrisă. Cum forţa provenită de la burduf este mai mare (faţă de mărimea măsurată), se declanşează un proces de comutare ce are ca rezultat închiderea unui contact. Dacă temperatura măsurată devine mai mică decât cea prescrisă se închide un alt contact.

Închiderea unuia din contacte determină închiderea sau deschiderea unei armături.

Presostatul - regulator de presiune conţine: elementul de măsurare a mărimii de reacţie y_r, constituit dintr-un burduf elastic; butonul pentru prescrierea mărimii dorite W, care acţionează asupra unei pârghii cu rol de comparator, contactul şi contactul fix. Dacă presiunea $y_r < W$, atunci contactul se deplasează şi deschide circuitul electric.

Higrostatul - regulator de umiditate. Elementul de măsură este constituit dintr-o harpă realizată cu fir de păr. Mărimea prescrisă este dată de butonul de prescriere. Dacă umiditatea φ a aerului ($y_r = \varphi$) este mai mare decât cea impusă W, harpa se dilată şi se deschide un contact. Când $y_r < W$ harpa se contractă şi se închide un alt contact.

Un regulator neliniar este constituit de manometrul cu contacte electrice.

Dacă presiunea p creşte, tubul Bourdon se deformează şi printr-un sistem cinematic, presiunea se transformă într-o deplasare unghiulară α,

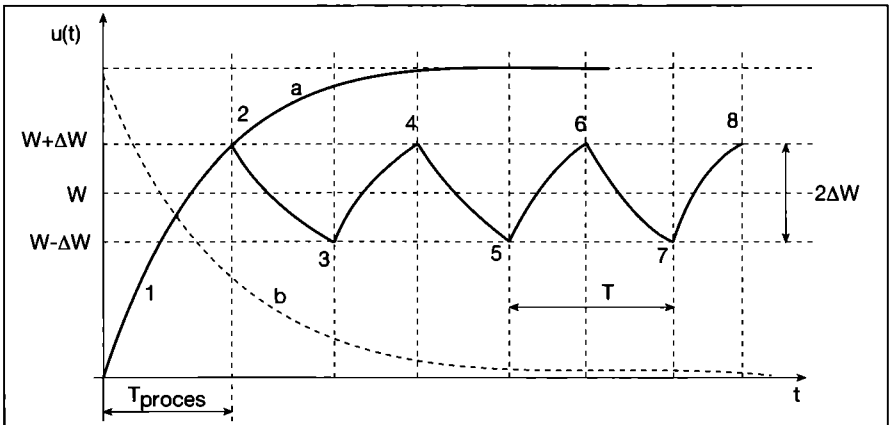


Fig. IV.2.46. Reglarea bipoziţională pentru un proces de ordinul I:
a - curba încălzirii pure; b - curba răcirii pure.

transmisă acului indicator ce se deplasează în fața unei scale etalonate corespunzător. În spatele scalei sunt contacte electrice mobile ce pot fi fixate la valorile dorite prin intermediul unei chei.

Acestui tip de regulator (manometru cu contacte) dacă i se atașează un rezervor termic (bulb) se obține un termometru manometric cu contacte TMC. Când temperatura θ crește, lichidul din rezervorul termic se dilată și trece prin tubul capilar crescând presiunea. Modificarea temperaturii θ se transformă într-o modificare a presiunii p care este măsurată prin intermediul tubului Bourdon și a acului indicator pe principiul manometrului.

• **Regulatoare specializate pentru procesele din instalații**

Sunt utilizate pentru montaje bazate pe milivoltmetre, logometre și ampermetre regulatoare. De asemenea, sunt utilizate regulatoare specializate de temperatură, pentru punctele termice, climatizare etc.

Milivoltmetrul regulator este asociat unui traductor generator, în mod obișnuit unui termocuplu (fig. IV.2.47).

Milivoltmetrul regulator este alcătuit dintr-un milivoltmetru indicator mV și un montaj de reglare. Milivoltmetrul indicator primește tensiunea de măsurat la bornele *a, b* (în acest caz de la termocuplu T_r) care este aplicată bobinei mobile 1. Bobina 1 se rotește cu un unghi α proporțional cu tensiune măsurată; concomitent cu deplasarea bobinei se produce și deplasarea acului indicator cu obturatorul 2. Indicarea tensiunii termoelectromotoare produsă de termocuplu 4 poate fi citită pe scala 3. Aceasta este funcția de măsurare.

Pentru funcția de reglare, este utilizat un montaj specific. Din exterior se pot fixa sesizoarele inductive (traductoare de proximitate) 5, respectiv 6 pe poziții corespunzătoare unei temperaturi dorite. Când acul indicator cu obturare 2 ajunge în dreptul unui sesizor indicativ de minimum (min) sau maximum (max) se schimbă punctul de polarizare al bazei unui tranzistor care intră în conducție și, ca urmare, se obține o amplificare ce conduce la anclanșarea releului intermediar D_1 respectiv D_2 (sarcină în colectorul tranzistorului). Anclanșarea releului D_1 respectiv D_2 determină închiderea sau deschiderea contactelor aparținând releului respectiv, ce trimite comenzi corespunzătoare elementelor de execuție.

Există milivoltmetre la care în locul sesizoarelor inductive sunt prevăzute întreruptoare cu mercur. Aceste aparate sunt prevăzute cu un sistem de palpare care verifică poziția acului indicator la 15 secunde. Dacă acesta a ajuns în dreptul întreruptorului fixat pe minimum, atunci acesta basculează și închide circuitul de minimum, cu emiterea comenzii respective. În mod similar, când acul indicator ajunge la maximum, la palparea care surprinde acul în poziție de maximum sau după reperul fixat la maximum, întreruptorul de maximum basculează și închide circuitul respectiv și se execută comanda corespunzătoare.

Acest tip de montaj de reglare există încă în exploatare, dar este înlocuit cu montajul de reglare cu sesizoare inductive.

În circuitul de măsură al milivoltmetrului în afara termocuplului T_r mai există o rezistență de etalonare R_e și doza de compensare DC. Se precizează că există milivolmetre regulatoare la care compensarea se realizează printr-un circuit electronic în interiorul milivoltmetrului.

Logometrul regulator este asociat unui traductor rezistiv, în mod obișnuit unei termorezistențe.

În fig. IV.2.48 este prezentat un logometru indicator în montaj cu trei fire.

Logometrul indicator are un echipaj mobil format din două bobine încrucișate B_1 și B_2 fixe între ele prin care trec curenții I_1 și I_2. Bobinele B_1 și B_2 sunt plasate într-un câmp magnetic produs de un magnet permanent.

Logometrul indicator este utilizat la măsurarea rezistențelor R_{Tr}. Aceste rezistențe pot fi constituite de traductoare rezistive, de exemplu, de termorezistențe. În acest mod, logometrul este utilizat la măsurarea temperaturilor.

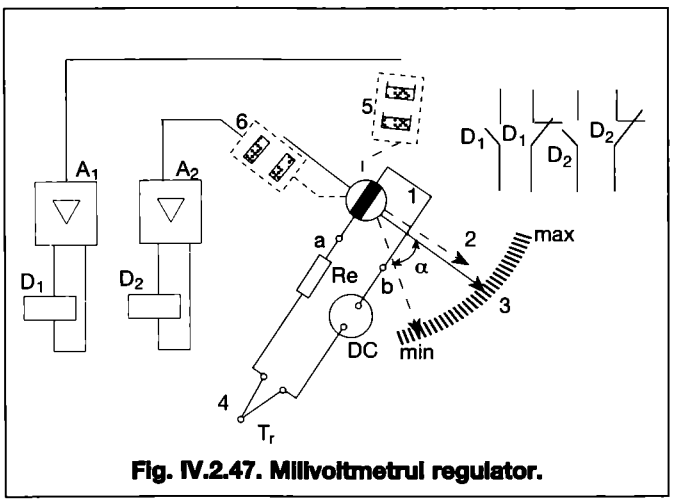


Fig. IV.2.47. Milivoltmetrul regulator.

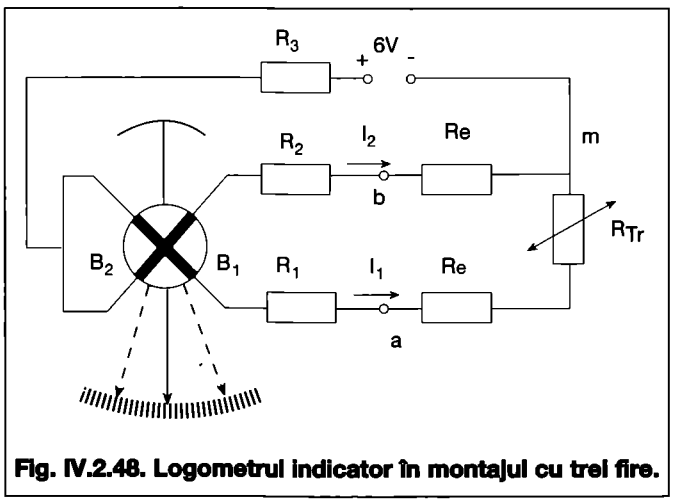


Fig. IV.2.48. Logometrul indicator în montajul cu trei fire.

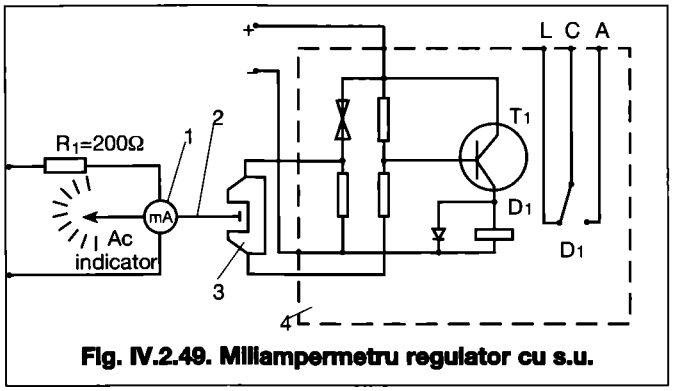


Fig. IV.2.49. Miliampermetru regulator cu s.u.

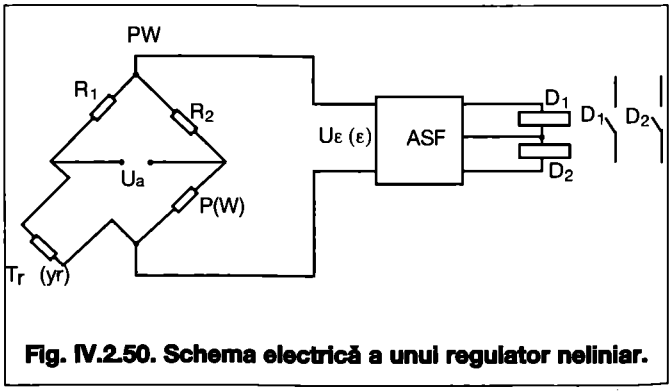


Fig. IV.2.50. Schema electrică a unui regulator neliniar.

Pentru funcția de reglare este utilizat un montaj asemănător cu cel de la milivoltmetru regulator, cu două sesizoare inductive, fixate pe poziția de minimum și maximum a domeniului de variație impus temperaturii; ca și în cazul milivoltmetrelor regulatoare există montaje de reglare și cu întreruptoare cu mercur.

Miliampermetrul regulator. Este utilizat pentru semnal unificat (fig.IV.2.49). Miliampermetrul 1 funcționează cu semnal electric unificat 2...10 sau 4...20 mA c.c. Acul indicator cu obturator 2 trece prin interiorul unui sesizor inductiv (paleta - obturator - intrând în bobină secțiunea crește, reductanța scade, inductanța crește și curentul ce trece prin bobină scade) care face să intre în conducție sau să se blocheze tranzistorul T_1. Ca urmare anclanșează sau nu releul intermediar D_1 care face să basculeze contactul cu același nume, ce dă comenzi corespunzătoare elementului de execuție.

Milivoltmetrele regulatoare, logometrele regulatoare și miliampermetrele regulatoare MR 192, LR 192 și AR 192 sunt produse de Întreprinderea de Aparate Electrice de Măsurat IAEM Timișoara. Aceste regulatoare, împreună cu reacții electronice RMC-3 (pentru procese lente) sau RMC-4 (pentru procese rapide) care au la bază RC fac ca să se obțină regulatoare pas cu pas ce funcționează ca regulatoare PI.

Un regulator specializat de temperatură (fig. IV.2.50) este alcătuit dintr-o punte Wheatstone PW, un amplificator sensibil la fază ASF și două relee intermediare D_1, D_2 cu contactele respective.

Prin potențiometrul *P* se impune mărimea de referință *W*. Traductorul T_r trimite din proces mărimea măsurată y_r. Puntea Wheatstone PW are rol de comparator și compară mărimea de referință *W* cu mărimea reală y_r. Abaterea rezultată este U_ε. Abaterea este aplicată la intrarea ASF. Dacă *W* este mai mare decât y_r, $U > 0$ și anclanșează releul D_1 care comandă elementul de execuție prin contactul normal deschis D_1 în sensul creșterii y_r. Dacă *W* este mai mic decât y_r, atunci $U_\varepsilon < 0$ și anclanșează releul D_2 care dă comandă corespunzătoare asupra elementului de execuție (în sensul reducerii y_r).

În locul celor două relee intermediare D_1 și D_2 poate fi prevăzută o bobină care să joace rolul unei excitații pentru un motor electric de c.c. Când bobina este parcursă într-un sens motorul se rotește, de exemplu, în sensul acelor de ceasornic, când bobina este parcursă în sens invers, motorul se rotește în sens trigonometric.

• Regulatoare specializate pentru climatizare

În fig. IV.2.51 este dată schema de structură a unui regulator specializat pentru climatizarea RSC. El permite conectarea la intrare a 1...3 traductoare de temperatură 1u1...1u3 și un traductor de umiditate relativă 2u1. La ieșire se pot conecta 1...3 elemente de execuție 1s1...1s3 pentru reglarea temperaturii și 1...3 elemente de execuție 2s1...2s3 pentru reglarea umidității relative.

Numărul maxim al elementelor de execuție este de 4.

Sunt utilizate termistoare ca traductoare de temperatură și traductoare cu clorură de litiu pentru umiditate. Modul de reglare este P sau PI.

Regulatoare numerice

Primesc, prelucrează și transmit informații sub forma unor semnale numerice care se reprezintă sub forma unor impulsuri codificate. Codul cel mai utilizat este cel binar, cu două niveluri ale semnalelor, cărora li se atașează valorile booleene "0" și "1".

Avantajele utilizării regulatoarelor numerice în comparație cu cele analogice sunt următoarele:

- permit memorarea datelor pe intervale de timp mari în comparație cu cele analogice unde informația poate fi păstrată nealterată pe intervale mici de timp (datorită descărcării condensatoarelor);
- se poate lucra, datorită posibilităților de memorare a datelor, în mai multe bucle de reglare prin conectarea lui succesivă la aceste bucle prin intermediul unui multiplexor;
- permit utilizarea unor algoritmi mai

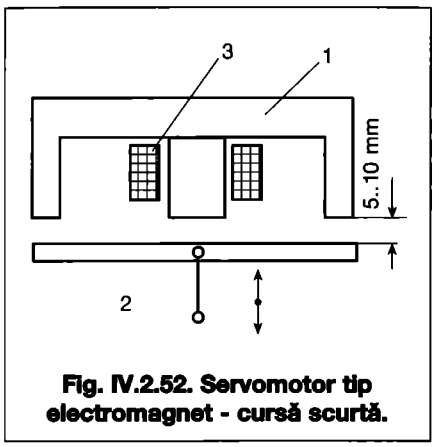


Fig. IV.2.52. Servomotor tip electromagnet - cursă scurtă.

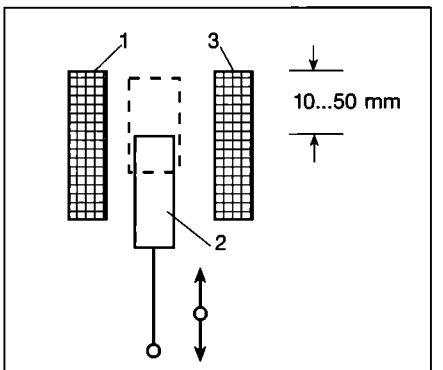


Fig. IV.2.53. Servomotor tip electromagnet - cursă lungă.

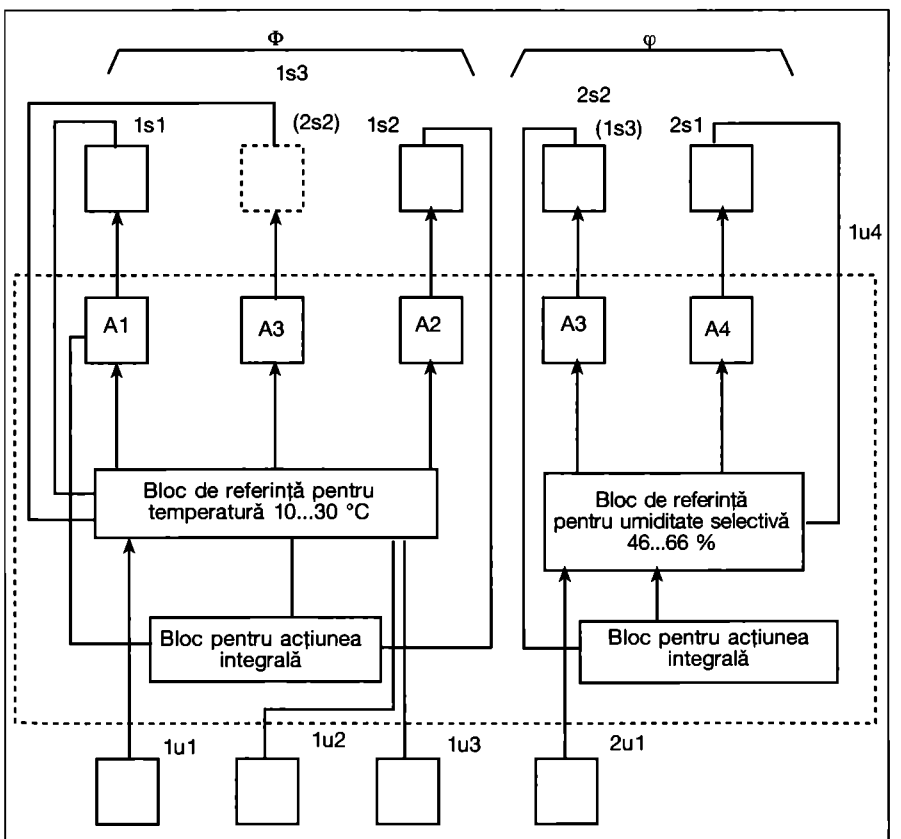


Fig. IV.2.51. Schema bloc a unui regulator specializat pentru climatizare RSC.

evoluați de reglare decât cei tipizați utilizați la regulatoarele analogice (P, PI, PD, PID);
- se poate realiza o precizie foarte ridicată.

Dezavantajul utilizării regulatoarelor numerice în comparație cu cele analogice este constituit de prețul de cost încă ridicat. În cazul unui număr mare de bucle de reglare se pot utiliza regulatoare multiple cu microprocesoare sau microcalculatoare, situație în care utilizarea echipamentelor numerice devine competitivă.

Structura regulatoarelor numerice este alcătuită din: bloc de prescriere a mărimii de referință BPR, bloc de comparație numerică BCN, bloc pentru realizarea legii de reglare BLR, bloc de acordare a parametrilor BAP, dispozitiv de comandă EC, convertoare numeric-analogice CNA și convertoare analog-numerice CAN.

2.4. Elemente de execuție

Sunt alcătuite din servomotoare și elemente mecanice de reglare.

Servomotoarele utilizate frecvent sunt electrice și pneumatice. *Servomotoarele electrice* sunt de tip electromagnet sau motor electric.

Servomotoarele electrice de tip electromagnet sunt diferite în funcție de lungimea cursei, ele având cursă scurtă (fig. IV. 2.52) sau lungă (fig. IV.2.53).

Sunt alcătuite dintr-o armătură fixă 1, o armătură mobilă 2 și o bobină 3. Când bobina este parcursă de curent se creează un câmp magnetic în jurul bobinei care se închide prin armătura fixă 1 și cea mobilă 2. Ca efect, armătura mobilă este atrasă. Când bobina 3 nu este parcursă de curent, armătura mobilă rămâne la poziția inițială.

Electromagneții sunt asociați adeseori robinetelor de reglare (fig. IV.2.54).

Servomotoarele electrice de tip motor. Motoarele electrice sunt de c.c. și c.a. Motoarele de c.c. utilizate sunt cele cu excitație separată (fig. IV.2.55)

Comanda pentru acționarea elementului mecanic de reglare se realizează prin variația curentului de excitație I_{ex}, din înfășurarea statorică menținând constant curentul din înfășurarea rotorică I_r (procedeu de comandă prin excitație sau inductor).

Comanda poate fi realizată și prin variația I_r menținând constantă I_{ex} (procedeu de comandă prin indus). Procedeul de comandă prin excitație nu asigură curentul indus constant.

Motoarele electrice de c.a. sunt monofazate (fig. IV.2.56), bifazate (fig. IV.2.57) și trifazate.

Motoarele electrice monofazate sunt motoare asincrone cu rotorul în colivie. Dacă se acționează butonul S_1 se închid circuitele: fază L - butonul S_1 - bobina L_1 - nul N (circuit principal direct) și fază L - butonul S_1 - condensatorul C - bobina L_2 - nul 0 (circuit auxiliar-indirect).

Cele două bobine L_1 și L_2 sunt parcurse de curenții I_1, I_2 care produc câte un câmp magnetic în jurul bobinelor. Rezultanta acestor câmpuri este un câmp magnetic învârtitor care determină o mișcare de rotație a rotorului, de exemplu în sensul (1). Dacă se acționează S_2 se închide circuitul:
- fază L - S_2 - L_2 - N (circuit principal) și
- fază L - S_2 - C - L_1 - N (circuit auxiliar). În acest caz, sensul câmpului magnetic învârtitor este invers și determină o mișcare de rotație a rotorului în sens invers (2).

Motoarele electrice bifazate sunt, de asemenea, motoare electrice asincrone cu rotorul în colivie, alimentate monofazat (tensiunea U_1).

Bobinele L_1 (alimentare - excitație) și L_2 (de comandă) sunt montate pe stator. Rolul condensatorului C este de a asigura un defazaj de 90° între curenții din L_1 și L_2. Pentru un cuplu constant, turația n a arborelui motorului este aproximativ proporțională cu U_2.

$$n = f(U_2) \qquad (2.4.1)$$

Sensul de rotație depinde de faza tensiunii de comandă în raport cu cea de excitație. La faza 0° corespunde un sens, iar la faza 180° celălalt sens.

Motoare electrice trifazate sunt utilizate când sunt necesare puteri mari (cupluri mari). Inversarea sensului se obține prin inversarea a două faze între ele (se schimbă sensul câmpului învârtitor).

Elementele mecanice de reglare

Motoarele electrice transmit mișcarea de rotație sau translație elementelor mecanice de reglare prin intermediul unor reductoare de turație. Elementele mecanice de reglare sunt: robinetele de reglare, clapetele de reglare, tijele pentru acționare (de exemplu acționarea jaluzelelor).

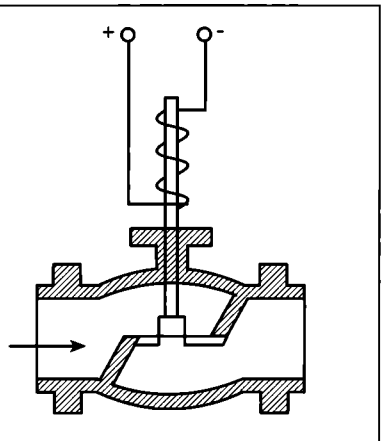


Fig. IV.2.54. Ventil electromagnetic.

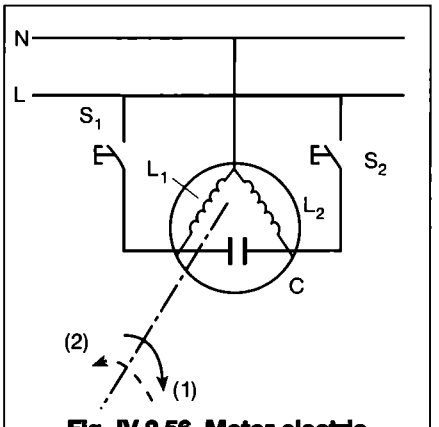


Fig. IV.2.56. Motor electric monofazat.

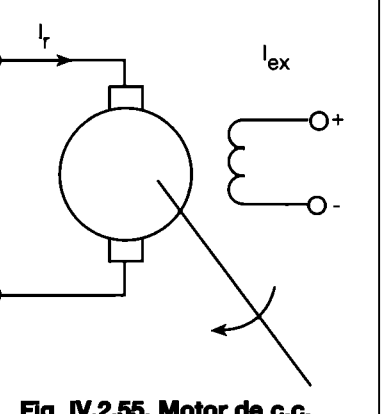


Fig. IV.2.55. Motor de c.c. cu excitație separată.

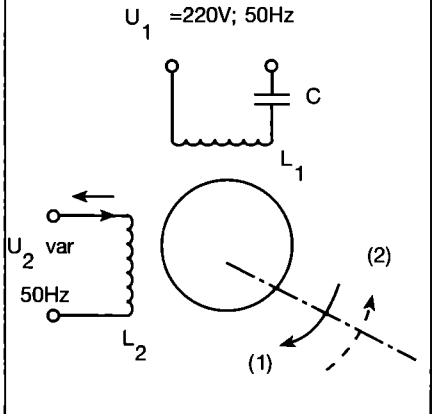


Fig. IV.2.57. Motor electric bifazat.

IV. Automatizări

Capitolul 3
Sisteme de comandă automată

Se prezintă comanda instalațiilor de iluminat, comanda motoarelor electrice și comanda unor echipamente specifice instalațiilor din construcții.

3.1. Comanda instalațiilor de iluminat

3.1.1. Instalații de iluminat interior

Se evidențiază automatul de scară și dispozitivele pentru reglarea fluxului luminos (fig. IV.3.1).

În regim manual se trece comutatorul (cheia) SO pe poziția manual M. În această situație se închide circuitul: fază L_1 - S0 - H_1 - neutru N, respectiv fază L_1 - S0 - H_2 - neutru N ș.a.m.d. Se observă faptul că lămpile H_1, H_2,...H_n sunt montate în paralel față de sursă și odată cu trecerea SO pe poziția M toate lămpile sunt alimentate.

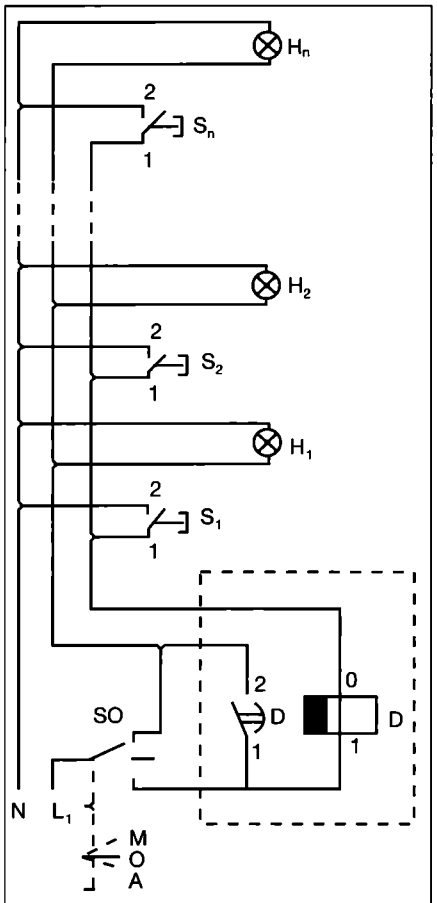


Fig. IV.3.1. Schema electrică desfășurată a unui automat de scară.

În regim automat, se trece comutatorul SO pe poziția automat A.

Pentru punerea sub tensiune a lămpilor H_1, H_2,...H_n este suficient a acționa unul dintre butoanele S_1, S_2, ...S_n. De exemplu, acționând butonul S_2 se închide circuitul: fază L_1 - releu de timp cu temporizare la deschidere D - S_2 - neutru N. În momentul în care D este parcurs de curent acesta închide contactul normal deschis cu temporizare la deschidere (cndtd) D (1-2) și toate lămpile sunt puse sub tensiune. După timpul prestabilit, cndtd D (1-2) se deschide și lămpile rămân nealimentate.

Pentru o nouă punere în funcțiune se acționează un nou buton (S_1, S_2,... S_n) și procesul se repetă.

De remarcat că lămpile sunt în funcțiune atâta timp cât este închis cndtd D (1-2). În mod obișnuit el se reglează pentru aproximativ trei minute.

În fig. IV.3.2 a este dată schema de principiu a unui dispozitiv pentru reglarea fluxului luminos ce utilizează un tiristor. Punerea în funcțiune a dispozitivului se efectuează prin acționarea butonului cu reținere S_1.

În acest moment puntea de redresare dublă alternanță formată din diodele semiconductoare V_1...V_4 este alimentată. La bornele A-B se obține o tensiune pulsatorie pozitivă de 100 Hz. Tiristorul V_5 montat între punctele A și B scurtcircuitează ieșirea punții, astfel încât curentul I_s prin sarcina L_i poate fi variat în funcție de unghiul de aprindere α. Variația α se obține prin circuitul de comandă alimentat prin intermediul rezistenței R_1 și a diodei stabilizatoare de tensiune V_6. Circuitul de comandă generează impulsuri cu α variabil în funcție de poziție potențiometrului P_1 prin care se creează o temporizare a circuitului format din rezistențele R_1, R_2, R_3 și condensatorului C_1. Datorită temporizării obținute și datorită tranzistoarelor T_1 și T_2 precum și rezistențelor R_4...R_6 se obțin impulsurile necesare amorsării V_5.

Pentru rezistența potențiometrului P_1, RP_1 = 0 constanta de timp este dată de $\tau = R_3/C_1 = 1{,}5$ ms ceea ce corespunde unui unghi de deschidere $\alpha = 177°$ și V_5 conduce practic întreaga semialternanță.

Pentru poziția cursorului în care RP_1 are valoarea maximă:

$\tau = [(R_{p1} \cdot R_2)/(R_{p1}+R_2) + R_3]C_1 = 9{,}5$ ms

ceea ce corespunde unui unghi de deschidere $\alpha = 10°$ și V_5 este blocat (fig. IV.3.2 b).

3.1.2. Instalații de iluminat exterior

În fig. IV.3.3 este prezentată schema electrică desfășurată pentru comanda succesivă a punerii sub tensiune a lămpilor din grupurile G_1, G_2, G_3. Punerea sub tensiune nu se efectuează simultan, deoarece aceasta ar conduce la absorbția din rețea, în momentul punerii sub tensiune a instalației, a unor curenți mari.

Pentru punerea în funcțiune se acționează butonul de pornire S_2. Ca urmare, se închide circ 4, bobina contactorului K_1 este parcursă de curent și anclanșează. Se modifică poziția contactelor conform diagramei de contacte. Prin închiderea cnd din circ. 1, se pun sub tensiune lămpile din grupul G_1; prin închiderea cnd din circ 5 se realizează automenținerea; prin închiderea cnd din circ.6 se anclanșează contactorul K_2 (se închide cnd conform diagramei de contacte). Prin închiderea cnd din circ.2 se pun sub tensiune lămpile din G_2; prin închiderea cnd din circ. 7 se anclanșează bobina contactorului K_3. Conform diagramei de contacte se

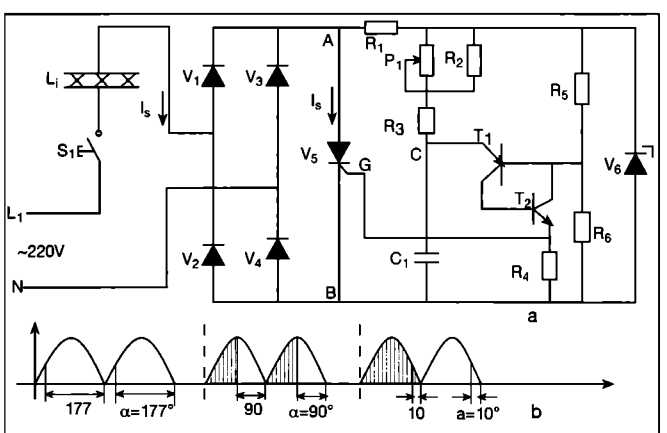


Fig. IV.3.2. Schema de principiu a unui dispozitiv pentru reglarea fluxului luminos.

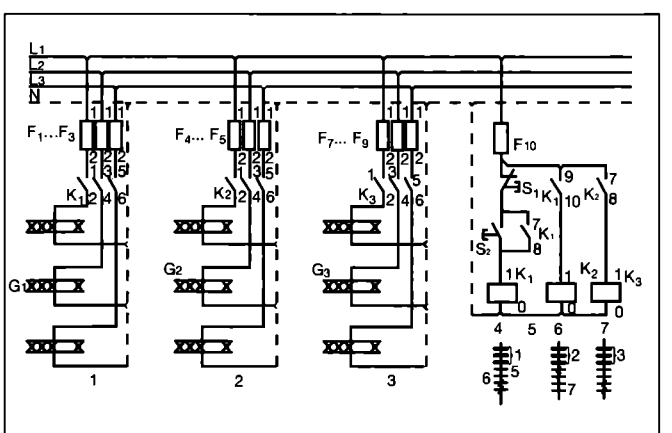


Fig. IV.3.3. Schema electrică desfășurată pentru comanda succesivă a iluminatului exterior.

închid cnd din circ.3 şi ca urmare, se pun sub tensiune lămpile din grupul G_3. Suntem în condiţiile că toate grupurile de lămpi sunt sub tensiune.

Deoarece, la acţionarea S_2 se pune sub tensiune G_1 şi numai după ce G_1 este sub tensiune de comandă punerea sub tensiune a G_2 ş.a.m.d. acest tip de comandă este succesivă.

Oprirea constă în scoaterea de sub tensiune a G_1, G_2, G_3, care întrerupe alimentarea circ.4. Ca urmare bobina contactorului K_1 rămâne nealimentată, contactele K_1, K_2 din circuitele 6 respectiv 7 rămân deschise şi bobinele contactoarelor K_1 şi K_3 nealimenatate. Aceasta implică întreruperea alimentării cu energie electrică a grupurilor de lămpi G_1, G_2 şi G_3.

Pentru reducerea mai accentuată a curenţilor la cuplarea la reţea a lămpilor din G_1, G_2, G_3 se pot introduce temporizări prin intermediul a două relee de timp D_1, D_2 (fig. IV.3.4).

Pentru pornire se acţionează S_2. Ca urmare se închide circuitul 5 şi anclanşează bobina contactorului K_1, care pune sub tensiune G_1 (închide contactele principale din circ.1), realizează automenţinerea (închide cnd K_1 din circ.6) şi închide circ.7 (prin închiderea cnd K_1 din circ.7).

Închiderea circ.7 realizează punerea sub tensiune a releului de timp cu temporizare la acţionare D_1. După timpul prestabilit, releul de timp D_1 închide cndtî D_1 din circ.8. Se închide astfel circ.8 şi este anclanşată bobina contactorului K_2. Acesta închide circ.2 (încep să funcţioneze lămpile G_2) şi cnd K_2 din circ.9 (începe să funcţioneze releul de timp D_2). După timpul prestabilit bobina releului de timp D_2 închide cndtî D_2 din circ.10, care are drept efect închiderea circ.10 şi prin această anclanşarea bobinei contactorului K_3.

Se obţine închiderea contactelor principale din circ. 3 şi deci punerea în funcţiune a lămpilor din grupul G_3. Pentru oprire se acţionează S_1.

În fig. IV.3.5 este prezentată schema electrică a unui aparat prin intermediul căruia se poate realiza comanda automată a iluminatului exterior. Aparatul este cuplat la reţeaua electrică de 220 V/50 Hz prin trecerea comutatorului S_5 pe poziţia I. Prezenţa tensiunii este semnalizată de lampa cu neon H_2.

Aparatul funcţionează la tensiunea stabilizată de 12 V c.c. Această tensiune este obţinută prin intermediul transformatorului T_1, a punţii redresoare formată din diodele V_8 - V_{11}, a condensatorului de filtraj C_3 şi a stabilizatorului de tensiune R_8 şi V_7.

Se alege modul de lucru prin acţionarea comutatorului S_4 cu 3 poziţii (8 discuri, cu două contacte normal deschise în poziţia 0).

Pe poziţia manual - M, se închid contactele corespunzătoare celor cinci discuri după cum urmează: CP; FQ; IR; LS şi OT. În această situaţie, se stabileşte circuitul electric prin contactele IR şi OT. La acţionarea butonului de pornire S_2, bobina releului K_1, fiind parcursă de curent, determină bascularea contactelor sale de pe poziţia $L_1(L_2)$ pe poziţia $H_1(H_2)$. Închiderea contactelor $C_1(H_1)$ $C_2(H_2)$ determină punerea sub tensiune a reţelei de iluminat exterior.

Totodată contactul normal deschis K_1 (montat în paralel cu S_2) determină memorarea acestei stări. Întreruperea funcţionării iluminatului exterior se realizează prin acţionarea butonului de oprire S_3 care întrerupe alimentarea bobinei releului K_1 astfel încât contactele basculante K_1 revin în starea iniţială $C_1(L_1)$ $C_2(L_2)$.

Pe poziţia automat - A, se închid contactele corespunzătoare celor cinci discuri după cu urmează: AP; DQ; GR; JS şi MT. În această situaţie, se stabileşte circuitul electric prin contactele AP, DQ şi JS. Contactul AP pune sub tensiune circuitul electronic CE. Contactele GR şi JS leagă bobina releului K_1 la tranzistorul final V_6 al CE.

Elementul de sesizare a iluminării exterioare este constituit de fotodioda FD_1. Această fotodiodă este montată într-un tub negru cu o lentilă de focalizare, amplasată astfel încât să nu fie influenţată de iluminatul artificial. Cu cât iluminarea exterioară este mai mare, rezistenţa internă a FD_1 scade. Tranzistoarele V_1, V_2 formează un tranzistor compus în montaj de amplificare de tip emitor comun ($\beta_{V1} = 10$, $\beta_{V2} = 10$, $\beta = 100$). Polarizarea bazei este realizată cu circuitul divizor de tensiune P_1, FD_1 şi R_1. Nivelul de tensiune în bază este stabilit pe de o parte de iluminarea exterioară (FD_1) şi pe de altă parte de valoarea rezistenţei serie, fixată manual prin intermediul potenţiometrului P_1. În acest mod, prin P_1 se fixează mărimea impusă, iar prin FD_1 se obţine mărimea măsurată. Comparaţia se efectuează pe principiul comparării serie.

Când iluminarea exterioară este mică (întuneric, fixat ca mărime impusă prin P_1) rezistenţa internă a FD_1 este mare, baza tranzistorului comun este slab polarizată ceea ce determină în punctul V_1 un potenţial apropiat de zero. Prin R_5C_1 se fixează constanta de timp, circuit prin care se filtrează perturbaţiile ce pot apare în timpul zilei când iluminarea este mai mică decât cea impusă (de exemplu, apariţia unui nor). Pentru

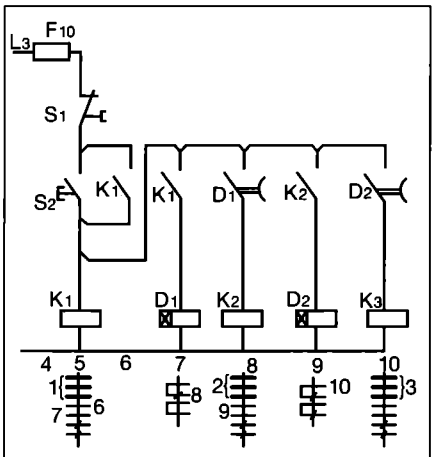


Fig. IV.3.4. Schema electrică desfăşurată pentru comanda temporizată a iluminatului exterior.

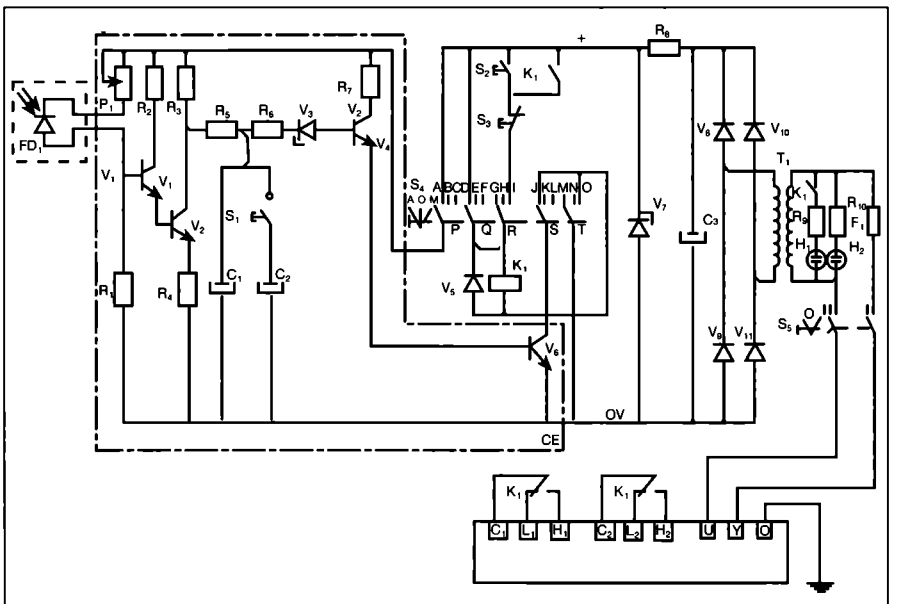


Fig. IV.3.5. Schema electrică a unui aparat pentru comanda automată a iluminatului exterior.

obținerea unei constante de timp mai mari se acționează butonul cu reținere S_1 care introduce în circuit C_2 în paralel cu C_1 obținându-se constanta de timp $R_5(C_1 + C_2)$. Prin intermediul grupului R_6V_3 se realizează o zonă moartă (fixată prin V_3 la un nivel de 0,6 V) care înlătură posibilitatea intrării în oscilație a CE datorită perturbațiilor în momentul atingerii egalității între mărimea impusă și mărimea măsurată a iluminării exterioare sesizată de FD_1. În punctul V_2 la trecerea timpului impus prin grupul de temporizare menționat P_5C_1, respectiv $R_5(C_1+C_2)$ se obține potențialul de deschidere al amplificatorului de putere, format din tranzistorul compus de V_4 și V_6. În această situație bobina releului K1 fiind parcursă de curentul de colector a tranzistorului V_6 determină bascularea contactelor sale de pe poziția L_1 (L_2) pe poziția H_1 (H_2). Rezistența R_8 limitează curentul pe stabilizatorul V_7.

3.2. Comanda motoarelor electrice

3.2.1. Comanda motoarelor electrice asincrone trifazate

3.2.1.1 Comanda motoarelor electrice asincrone trifazate cu rotorul în colivie

Motoarele cu rotorul în colivie se pornesc direct prin aplicarea tensiunii la rețea sau prin aplicarea unei tensiuni reduse.

Se disting două situații:

1 - motoarele electrice sunt alimentate de la rețeaua electrică a întreprinderii furnizoare de energie electrică IFE (tensiunea de linie dintre faze de 380 V (400 V) c.a.;

2 - motoarele electrice sunt alimentate de la posturi de transformare proprii.

Când sunt alimentate de la rețeaua electrică a IFE pot fi pornite direct motoare electrice cu puteri mai mici de sau egale cu 5 kW.

Pentru motoarele electrice cu puteri mai mari trebuie îndeplinite condițiile:

$$I_p < I_{pr} \quad (3.2.1)$$

$$M_p > M_r \quad (3.2.2)$$

$$(\Delta U_p)_{ef}\ \% \le (\Delta U_p)_{ad}\ \% \quad (3.2.3)$$

în care:

I_p - este curentul la pornire corespunzător cuplului de pornire M_p;

I_{pr} - curentul maxim de pornire pe care îl admite rețeaua ce alimentează motorul electric;

M_p - cuplul de pornire pe care trebuie să-l dezvolte motorul la pornire;

M_r - cuplul rezistent pe care-l necesită la pornire agregatul ce trebuie pus în funcțiune;

$(\Delta U_p)_{ef}$ % - pierderea de tensiune efectivă la pornire;

$(\Delta U_p)_{ad}$ % - pierderea de tensiune maximă admisibilă la pornire; este dată de întreprinderea producătoare pentru fiecare motor (în cazul când nu este cunoscută, se ia orientativ 12 %).

Dacă motoarele electrice sunt alimentate de la posturi de transformare proprii, se admite pornirea directă a motoarelor ce nu depășesc 20 % din puterea transformatoarelor conectate în paralel.

În fig. IV.3.6 sunt prezentate schemele electrice ale unui motor asincron trifazat cu rotorul în colivie cu pornirea directă. Pornirea se realizează prin închiderea butonului (cu revenire) S_1. Acesta închide linia 10 punând sub tensiune bobina contactorului K_1. Urmărind schema contactelor lui K_1 rezultă:

- închiderea contactelor principale K_1 din circuitul 1 al motorului, conectând motorul în rețea;
- închiderea cnd secundar K_1 2-4 din circuitul 11, făcând automenținerea alimentării bobinei contactorului și
- închiderea cnd secundar K_1 6-8 din circuitul 12 punând sub tensiune lampa de semnalizare H_1.

Acest tip de pornire este simplu, robust și economic. Are dezavantajul că valoarea curentului la pornire I_p este mare:

$$I_p = (5...8)\ I_n \quad (3.2.4)$$

în care:

I_n - este curentul nominal.

Curentul mare la pornire Ip face ca pierderea de tensiune $(\Delta U_p)_{ef}$ % să fie mare, ceea ce determină funcționarea nefavorabilă a receptoarelor conectate la aceeași rețea.

O pornire ameliorată se poate realiza utilizând motorul în dublă colivie sau cu bare înalte (se obține la pornire un cuplu mai mare și o intensitate a curentului mai mică).

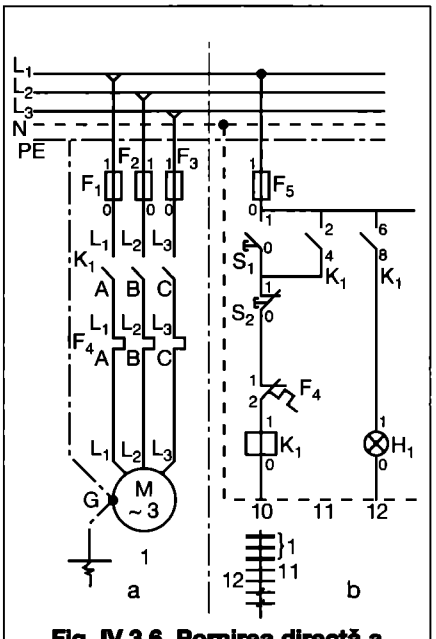


Fig. IV.3.6. Pornirea directă a motorului asincron trifazat (acționare manuală):
a - circuite principale; b - circuite secundare (de comandă).

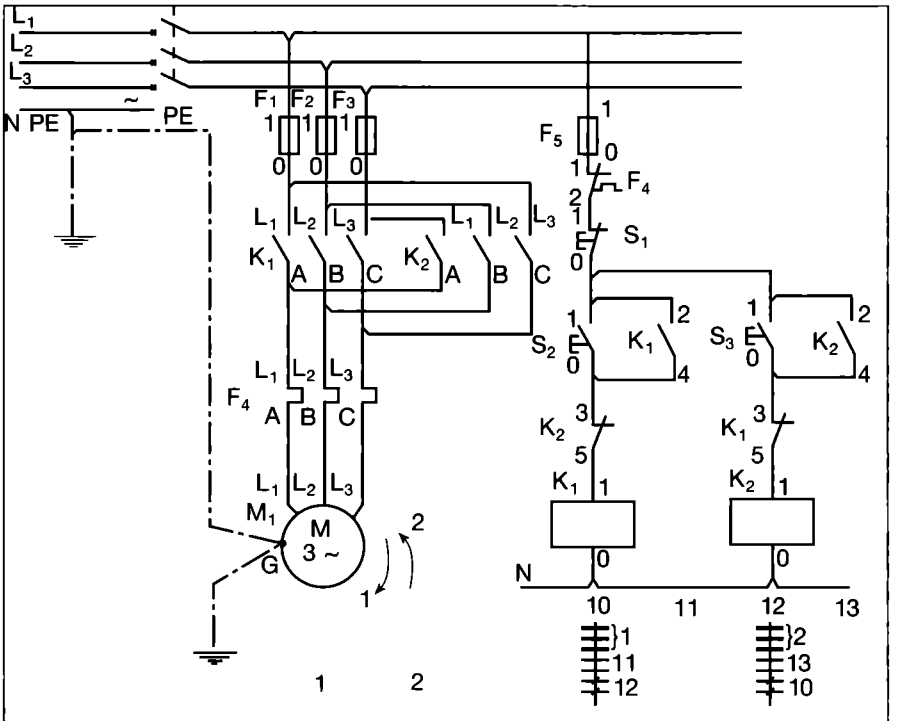


Fig. IV.3.7. Reversarea de sens cu comandă manuală.

Reversarea de sens a unui motor electric asincron trifazat cu rotorul în colivie cu pornire directă (regim de funcționare manual)

În fig. IV.3.7 este prezentată schema electrică desfășurată, de principiu, pentru reversarea de sens a motorului cu pornire directă (regim de funcționare manual).

Pentru a realiza reversarea de sens, este necesar a schimba două faze între ele, de exemplu, fazele L_1 cu L_3 (prin schimbarea fazelor între ele se schimbă sensul câmpului învârtitor și deci sensul de rotație a rotorului).

Pentru pornirea în sensul 1 se acționează butonul de pornire S_2. Ca urmare se închide circ.10 și anclanșează bobina contactului K_1. Conform diagramei de contacte, se închid cnd din circ.1 (motorul electric M_1 este alimentat și pornește), se închide cnd K_1 din circ.11 (de automenținere) și se deschide cnî K_1 din circ.12 (chiar dacă se acționează S_3, circ.12 rămâne deschis). Pentru oprire se acționează butonul de oprire S_1 care întrerupe circ.10, bobina K_1 rămâne nealimentată și se deschid cnî K_1 din circ.1; M_1 rămânând nealimentat se oprește.

Pentru pornirea în sensul 2, se acționează butonul de pornire S_3. Se închide circ12 și bobina contactorului K_2 anclanșează.

Conform diagramei de contacte, închide cnd K_2 din circ. 2 (M_1 este alimentat prin acest circuit care schimbă între ele două faze și pornește în sensul 2) închide cnd K_2 din circ. 13 (de automenținere) și deschide cnî K_2 din circ. 10 (de interblocare care nu permite pornirea M_1 în sensul 1 chiar dacă se acționează S_2, circ. 10 rămânând deschis).

Contactele normal închise K_1 din circuitul 12 și K_2 din 10 au rolul de interblocare a contactoarelor K_2 și, respectiv K_1 pentru a nu produce scurtcircuit bifazat în cazul în care ambele contactoare ar fi sub tensiune.

Comanda motoarelor asincrone cu rotorul în colivie cu două trepte de turație (fig. IV.3.8)

Reglarea are la bază relația:

$$n = \frac{60f}{p} \qquad (3.2.5)$$

în care:

n - este turația;

f - frecvența tensiunii de alimentare a înfășurărilor statorice (f = 50 Hz ≈ const);

p - numărul perechilor de poli.

Rezultă că: $n = f(p)$.

Comanda (semnalul) poate fi dată pe canalul 1 sau 2. În funcție de canalul ales și poziția comutatorului (cheii) b1 se obține o conexiune a înfășurărilor statorice a M_1 în triunghi (Δ) cu număr mare de perechi de poli deci turație mică sau o conexiune în dublă stea (Y) cu număr mic de perechi de poli (redus la jumătate - fig. IV.3.9) deci cu turație dublă (mare).

Comutatorul b_1 (fig. IV.3.8) are șase discuri I - VI cu câte patru borne 1...4.

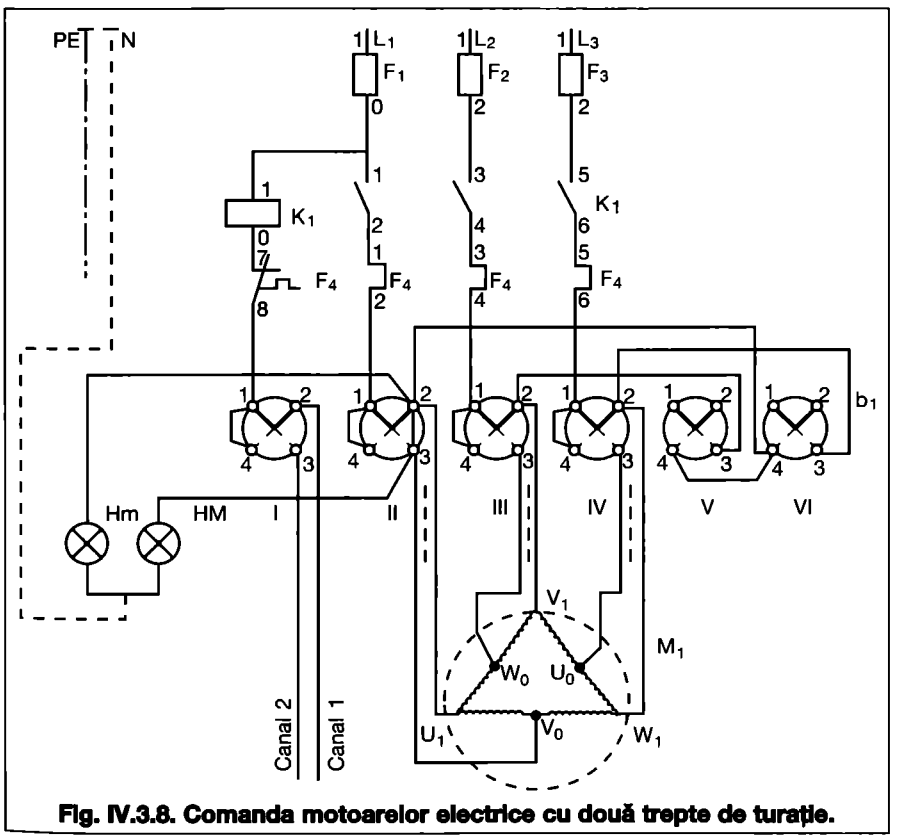


Fig. IV.3.8. Comanda motoarelor electrice cu două trepte de turație.

Prin rotirea b1 se pot obține două poziții de conexiuni și anume: poziția de conexiune 1 cu linie continuă între bornele 1-2 ale celor șase discuri; poziția de conexiune 2 cu linie întreruptă între bornele 3-4 ale celor șase discuri.

Dacă semnalul de comandă vine pe canalul 1 (turație lentă) și b_1 este pe poziția de conexiune 1, se închide circuitul: canal 1 - (b_1/I)2-1 - $F_4$8-7 - - $K_1$0-1 - F_1 - L_1.

Ca urmare, anclanșează bobina contactorului K_1, se închid contactele principale K1-2, K3-4, K5-6 punându-se sub tensiune înfășurările statorice ale M_1.

Astfel: faza L_1 - F_1 - $K_1$1-2 - $F_4$1-2 - (b_1/II)1-2

- borna U_1 a M_1; faza L_2 - F_2 - - $K_1$3-4 - $F_4$3-4 - (b_1/III)1-2 - borna V_1; faza L_3 - F_3 - $K_1$5-6 - $F_4$5-6 - - (b_1/IV)1-2 - borna W_1.

Este realizată alimentarea bornelor U_1, V_1, W_1 și prin aceasta se formează o conexiune triunghi cu număr mare de perechi de poli p (bobinele sunt înseriate) și respectiv turație n mică (lentă). Această funcționare este indicată de lampa de semnalizare Hm. În această situație bobinele U_0, V_0, W_0 nu sunt conectate la nici un circuit. Dacă se inițiază o comandă pe canalul 2 (turație rapidă) și b_1 este pe poziția de conexiune 2 și închide circuitul:

canal 2 - (b_1/I)3-4-1 - $F_4$8-7 - $K_1$0-1 - F_1 - fază L_1.

Anclanșează $K_1$1-0, se închid contactele principale ale lui K_1 punându-se sub tensiune înfășurările statorice ale lui M_1.

Astfel: faza L_1 - F_1 - $K_1$1-2 - - (b_1/II)1-4-3 - V_0;

faza L_2 - F_2 - $K_1$3-4 - $F_4$3-4 - - (b_1/III)1-4-3 - W_0; faza L_3 - F_3 - - $K_1$5-6 - $F_4$5-6 - (b_1/IV)1-4-3 - U_0.

Sunt alimentate bornele U_0, V_0, W_0. Se remarcă următoarele: borna U_1 este conectată la (b_1/II)2 - Hm - N;

borna V_1 - (b_1/III)2 - (b_1/V)3-4 - (b_1/VI)4 - (b_1/II)2 - Hm - N;

borna W_1 - (b_1/IV)2 - (b_1/VI)3-4 - - (b_1/II)2 - Hm - N.

Cele trei borne U_1, V_1, W_1 sunt montate în Y (fig. IV.3.9).

S-a realizat o conexiune dublă stea la care p scade la jumătate (bobinele sunt montate în paralel câte două) și n

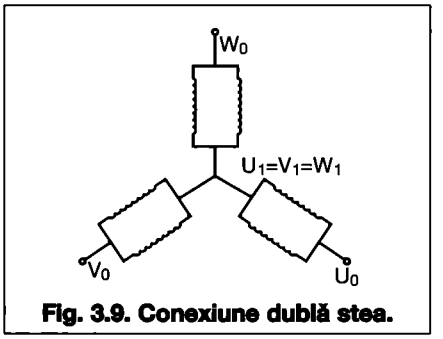


Fig. 3.9. Conexiune dublă stea.

crește de două ori (se obține o turație mare).

Această funcționare este indicată de lampa de semnalizare HM.

Comanda motoarelor electrice asincrone trifazate cu rotorul în colivie prin aplicarea unei tensiuni reduse

Tensiunea redusă este aplicată înfășurărilor statorului prin intermediul: rezistențelor, bobinelor de reactanță, autotransformatoarelor, amplificatoarelor magnetice, prin conexiunea stea-triunghi, cu tiristoare.

Pornirea cu rezistențe, constă în montarea în serie cu înfășurările statorului a unei rezistențe metalice (pe fiecare fază) ca în fig. IV.3.10. La acționarea S_2 se închide circ.4 anclanșează bobina contactorului K_2 și este pusă sub tensiune bobina releului de timp D_1 care începe să funcționeze. Ca urmare a anclanșării bobinei contactorului K_2 se închid contactele principale (de forță) K_2 din circ.3 și cnd K_2 de automenținere din circ.5. Închiderea cnd K_2 din circ.3 conduce la închiderea circ.1 și prin aceasta la pornirea M_1 cu prima treaptă de rezistențe R_1 în circuit.

După un timp prestabilit pe releul de timp D_1, corespunzător turației n_{R1}, bobina releului de timp D_1 închide cndtî din circ.7. Prin închiderea circ.7 se obține anclanșarea bobinei contactorului K_1. Bobina contactorului K_1 își închide contactele de forță din circ.1, contactul de automenținere din circ.8 și deschide cnî K_1 din circ.4. Prin închiderea cnd K_1 din circ.1 se face saltul de pe caracteristica artificială pe cea naturală și se ajunge la punctul de funcționare F (fig. IV.3.11 a,b).

Pentru cazul a două trepte de rezistență R_1 și R_2, ele se introduc temporizat în circuitul statoric și funcționează pe caracteristica I_{R1}, I_{R2} respectiv M_{R1}, M_{R2} (fig. IV.3.12 b,c).

După un timp prestabilit, corespunzător turației n_{R1}, se scurtcircuitează R_2 și rămâne numai R_1. În acest moment se produce saltul de pe caracteristica artificială I_{R1}, respectiv M_{R1} pe caracteristica artificială I_{R2}, respectiv M_{R2}. După un alt timp prestabilit corespunzător n_{R2} se scurtcircuitează și R_1 și se produce saltul pe caracteristica naturală I_n, respectiv M_n. Funcționarea se stabilizează în punctul de funcționare F, punct care se află la intersecția caracteristicii mecanice M a motorului cu caracteristica mașinii de lucru Mr. Trebuie avut grijă ca punctul F să fie plasat pe partea stabilă a caracteristicii mecanice.

Dacă la pornirea directă $I_p = (5...8)I_n$, la pornirea cu rezistențe în circuitul statoric $I_p = (3,5...5,5)I_n$ corespunzător rezistențelor introduse în circuitul statoric.

Rezistența de pornire pe fază R_{pf} se calculează cu relația:

$$R_{pf} = \frac{0,82}{3kI_n} \qquad (3.2.6)$$

în care:

U_n - tensiunea nominală [V];

I_n - intensitatea curentului nominal [A];

k - raportul dintre curentul inițial de pornire și curentul nominal (I_p/I_n).

Pentru pornirea în gol ($M_r \approx 0$) corespunde $k = 2,5$; la $M_r/3$ corespunde $k = 3...1,5$, iar la $M_r/3...M_r/2$ corespunde $k = 1,2...0,9$. Utilizarea acestei metode este indicată când motorul pornește în gol sau la cupluri mai mici decât $M_n/3$.

Se precizează că utilizarea acestei metode implică prevederea unei reglări automate a turației în funcție de care să se facă scurtcircuitarea rezistențelor.

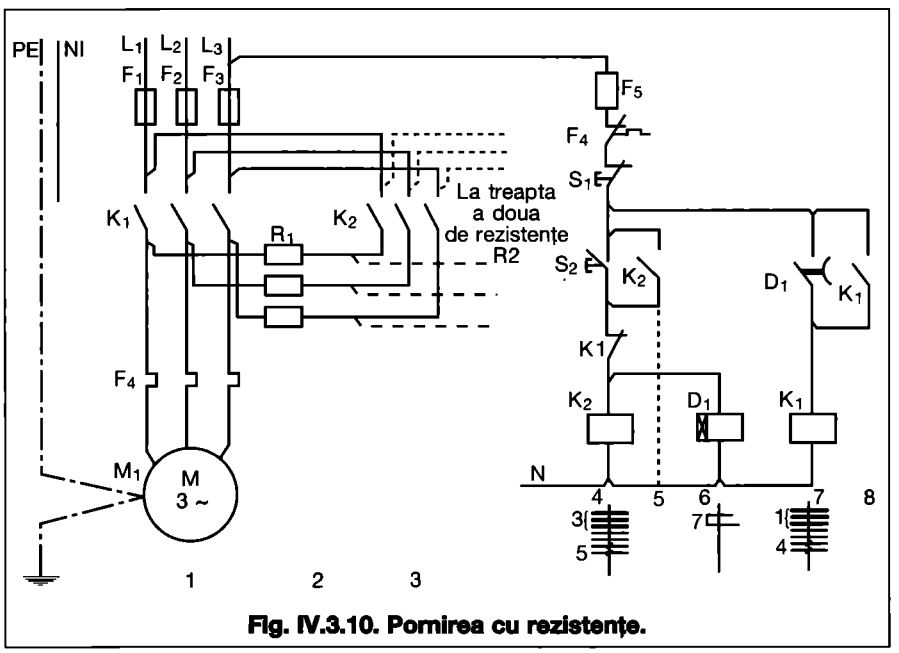


Fig. IV.3.10. Pornirea cu rezistențe.

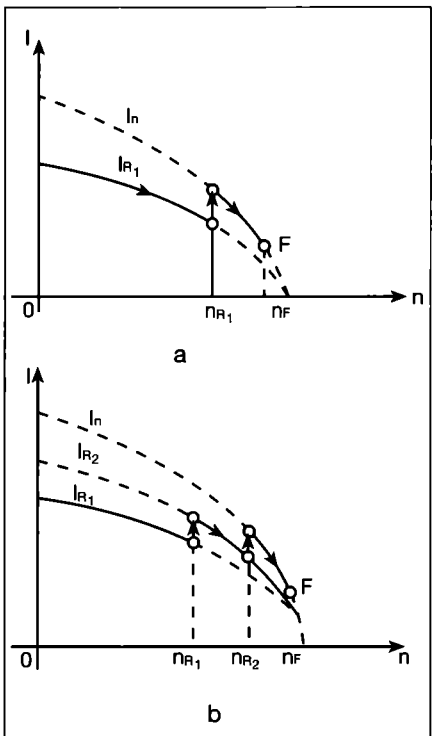


Fig. IV.3.11. Caracteristici I=f(n):
a - pentru o treaptă de rezistență;
b - pentru două trepte de rezistență.

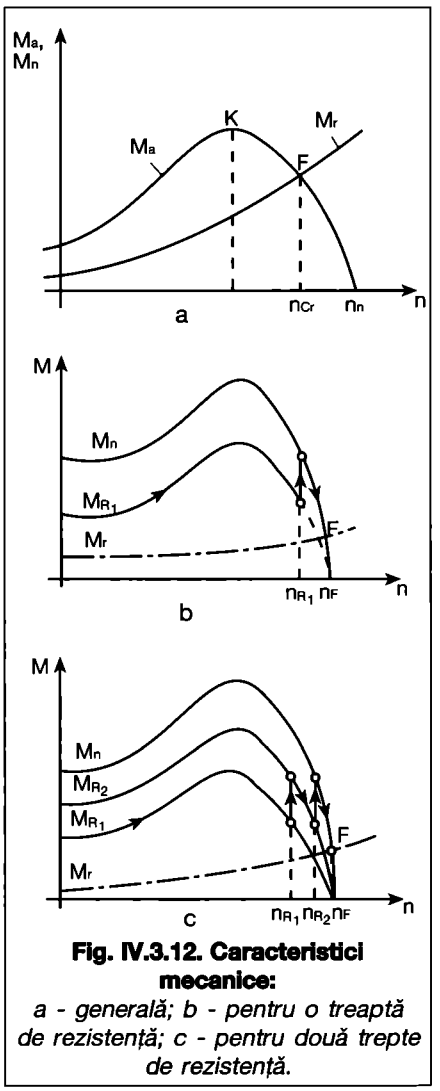


Fig. IV.3.12. Caracteristici mecanice:
a - generală; b - pentru o treaptă de rezistență; c - pentru două trepte de rezistență.

Dacă scurtcircuitarea unei trepte de rezistență se efectuează înaintea turației prestabilite ($n < n_{R1}$) se obțin salturi mari ce conduc la cupluri mari, ceea ce conduce la pierderea avantajului acestei porniri. Dacă scurtcircuitarea se efectuează cu întârziere ($n > n_{R1}$) rezistențele se încălzesc, pot arde (produc incendii). Prevederea reglării automate a turației poate fi evitată prin înscrierea pe faze a unor rezistențe termovariabile (rezistența electrică scade pe măsura creșterii turației).

În fig. IV.3.13 este indicată forma caracteristicii mecanice a motorului electric cu pornirea directă fără rezistențe în circuitul statoric, în raport cu caracteristica mecanică a motorului electric a rezistenței metalice în circuitul statoric și caracteristica mecanică a motorului electric cu rezistențe termovariabile.

Pornirea cu bobine de reactanță constă în montarea în serie cu înfășurările statorului a câte o bobină de reactanță pe fiecare fază. Bobinele de reactanță sunt formate din spire montate pe suporturi din beton. Sunt utilizate, în general, pentru limitarea curenților de scurtcircuit (bobinele măresc reactanța circuitului). Schema desfășurată electrică este identică cu cea pentru pornirea cu rezistențe în circuitul statoric, cu mențiunea că în locul rezistențelor se introduc bobinele de reactanță.

Pornirea cu autotransformatoare (fig. IV.3.14) se bazează pe aplicarea la bornele înfășurărilor statorice ale motorului electric M_1 a unei tensiuni ce poate fi variată continuu sau în trepte.

La acționarea butonului de pornire S_2 se închid circuitele 3...6. Ca urmare, anclanșează bobinele contactoarelor K_1 și K_3 și începe să funcționeze releul de timp D_1.

Prin anclanșarea lui K_1 se închid contactele principale din circ. 1 și cnd K_1 din circ.4 pentru automenținere. Anclanșarea lui K_3 conduce la închiderea circ. 2. Motorul electric M_1 pornește cu înfășurările autotransformatorului T_1 conectate în serie cu înfășurările statorice ale motorului. După timpul care a fost reglat D_1 (atingerea turației maxime corespunzătoare tensiunii de alimentare), acesta închide cndt D_1 din circ.7 și anclanșează bobina contactorului K_2. Anclanșarea bobinei contactorului K_2 conduce la scurtcircuitarea înfășurărilor autotransformatorului și prin aceasta la funcționarea directă a lui M_1 (la tensiunea nominală). Funcționarea lămpii de semnalizare H_1 indică momentul trecerii de la funcționarea cu autotransformator la cea directă (normală). Oprirea se efectuează prin acționarea butonului de oprire S_1. Dacă se notează cu U_{1N} și I_{pr} tensiunea și curentul de pornire luate de la rețea și cu U_{1m} și I_{1m} - tensiunea și curentul de pornire la bornele statorului și cu k_A - raportul de transformare a autotransformatorului, cu Z_{1k} - impedanța unei faze a autotransformatorului și cu I_{1kN} - curentul de la pornirea directă a motorului se poate scrie:

$$U_{1n} \cdot I_{pr} = U_{1m} \cdot I_{1m} \qquad (3.2.7)$$

$$I_{pr} = \frac{U_{1m}}{U_{1n}} I_{1m} \qquad (3.2.8)$$

$$\frac{U_{1n}}{U_{1m}} = k_A;\ U_{1m} = \frac{1}{k_A} U_{1N} \qquad (3.2.9)$$

$$I_{pr} = \frac{1}{k_A} I_{1m} \qquad (3.2.10)$$

$$I_{1m} = \frac{U_{1m}}{Z_{1k}} = \frac{1}{k_A} \cdot \frac{U_{1N}}{Z_{1k}} \qquad (3.2.11)$$

$$I_{pr} = \frac{I_{1m}}{k_A} = \frac{1}{k_A^2} \cdot \frac{U_{1N}}{Z_{1k}} = \frac{1}{k_A^2} I_{1kN} \qquad (3.2.12)$$

Din relația 3.2.12 rezultă că la pornirea cu autotransformator, curentul la pornire se micșorează de k_A^2 ori față de curentul la pornirea directă. Cuplul de pornire este proporțional cu U_{1m}^2 și având în vedere relația 3.2.9 rezultă că și cuplul se micșorează de k_A^2 ori față de cuplul la pornirea directă. Pentru același I_{pr}, la pornirea cu autotransformator se obține un cuplu mai mare decât la pornirea cu rezistențe sau bobine de reactanță în circuitul statoric.

Pornirea cu amplificatoare magnetice montate în circuitul statoric (fig. IV.3.15) constă în montarea în serie pe fiecare fază ce alimentează înfășurările statorice a înfășurării de lucru (Il) a câte unui amplificator magnetic (sunt utilizate trei amplificatoare magnetice A_1, A_2, A_3).

Înfășurările de comandă (Ic) ale celor trei amplificatoare magnetice sunt montate în serie între ele și sunt alimentate în curent continuu de la o punte redresoare V_1 prin intermediul unei rezistențe reglabile R_1 pentru limitarea curentului în aceste înfășurări. Puntea redresoare U_1 este alimentată de la bornele statorului motorului. Când curentul prin înfășurarea de comandă Ic

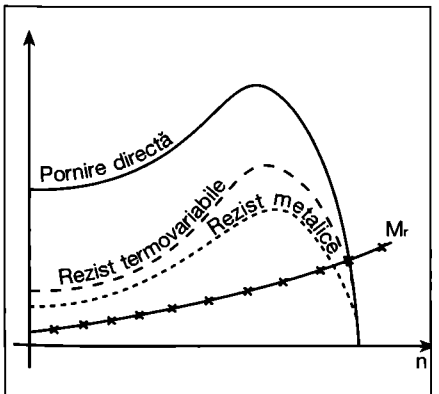


Fig. IV.3.13. Caracteristici mecanice pentru diferite tipuri de rezistențe electrice.

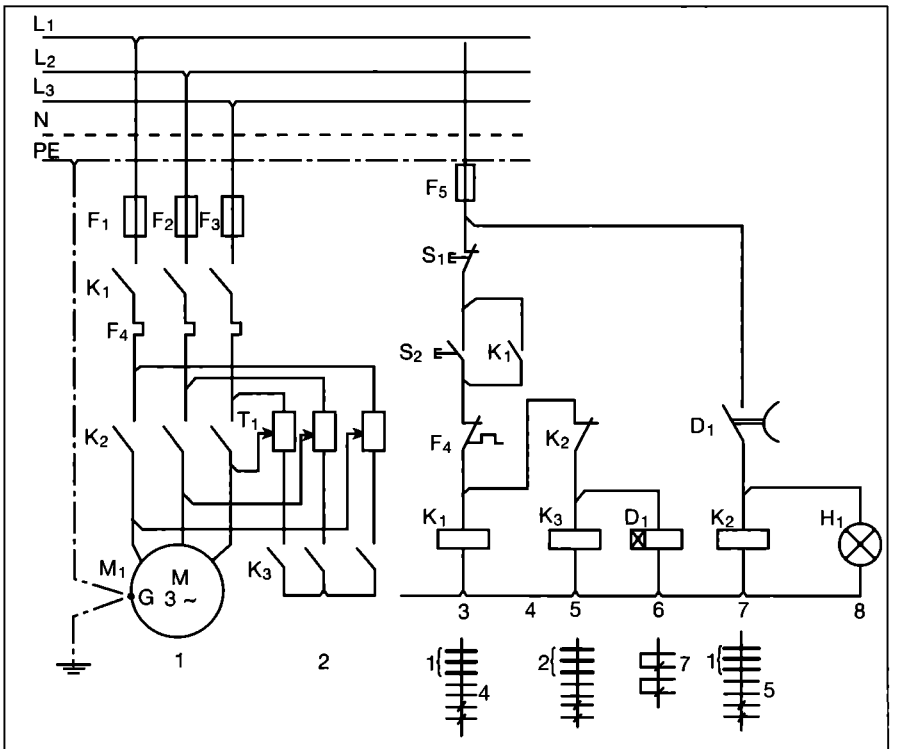


Fig. IV.3.14. Pornirea cu autotransformatoare a motorului electric M_1 cu aplicarea unei tensiuni ce poate fi variată continuu sau în trepte.

crește, scade reactanța inductivă X_L, ceea ce conduce la micșorarea pierderii de tensiune pe înfășurările de lucru și deci la creșterea tensiunii la bornele statorului motorului. Crescând tensiunea la bornele statorului motorului crește Ic până când X_L tinde către zero și la bornele statorului se aplică o tensiune, practic, egală cu a rețelei.

O altă modalitate de utilizare a amplificatoarelor magnetice la pornirea motoarelor asincrone cu rotorul în colivie se efectuează în funcție de turație. Pe arborele motorului se montează un tahogenerator a cărui tensiune este funcție de turație. Tensiunea produsă de tahogenerator este aplicată înfășurării de comandă.

Pornirea stea-triunghi (conexiune Y - Δ) se realizează în cazul când momentul de pornire în stea este mai mare decât momentul rezistent (cerut de echipamentul antrenat de motor). Această condiție se realizează în cazul pompelor și ventilatoarelor din instalațiile curente pentru construcții.

Comutarea de la conexiunea stea la conexiunea triunghi este însoțită de un salt de curent, respectiv de cuplu (fig. IV.3.16).

Schema de principiu, utilizată la pornirea stea-triunghi este dată în fig. IV.3.17.

Pentru pornire se acționează butonul S_1 din linia 4. Se închid:

* linia 4 a bobinei contactorului K_3 și
* linia 5 a releului de timp D_1.

Contactorul K_3 închide contactele principale din linia 3 făcând conexiunea stea a înfășurărilor motorului. Totodată acționează:

- cnd din linia 5 ce face automenținerea (lui K_3);
- cnd din linia 5-6 ce pune sub tensiune linia 6, acționând contactorul K_1;
- cnd din linia 5 are în paralel lampa de semnalizare H_1 privind conexiunea din stea;
- cnî din liniile 7 și 8 făcând blocarea acționării contactorului K_2 ce ar realiza conexiunea în triunghi și ar produce scurtcircuit în circuitele principale.

Linia 6 fiind pusă sub tensiune, bobina contactorului K_1 acționează:

* contactele principale K_1 din linia 1 punând motorul sub tensiune în conexiune stea;
* cnd din linia 6 pentru automenținere și
* cnd din linia 7 ce pregătește acționarea ulterioară a releului intermediar D_2.

Motorul funcționează în stea timpul impus de releul de timp D_1. După acest timp, cndtd D_1 din linia 4 se deschide deconectând contactorul K_3 și releul D_1. Contactele lui K_1 revin în poziție inițială. Astfel conexiunea stea se deschide (motorul merge din inerție având turația mare) și linia 7 se închide punând sub tensiune releul D_2. Acesta închide cnd din linia 8 punând sub tensiune contactorului K_2. Acesta realizează conexiunea în triunghi (închizând contactele principale din linia 2), blocarea contactorului K_3 (prin cnî din linia 4) și acționarea lămpii H_2 ce semnalizează funcționarea în triunghi a motorului.

Timpul de acționare al releului D_1 este corespunzător diagramei din fig. IV.3.16. Releul D_2 este necesar pentru a realiza o temporizare (egală cu timpul de acționare a acestuia) între stingerea arcului electric pe contactele principale K_3 și închiderea contactelor principale K_2. Când acest timp este insuficient (la motoare de putere peste 15 kW), pentru a nu se produce scurtcircuit, se conectează două relee intermediare în serie pentru acționarea contactorului K_2.

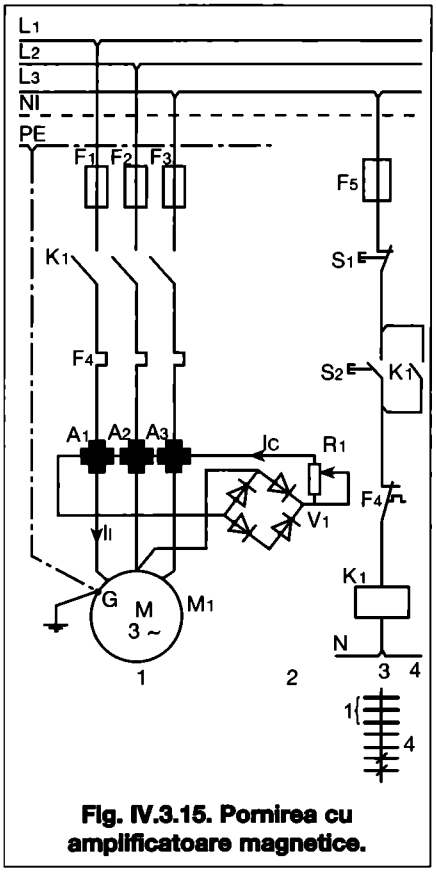


Fig. IV.3.15. Pornirea cu amplificatoare magnetice.

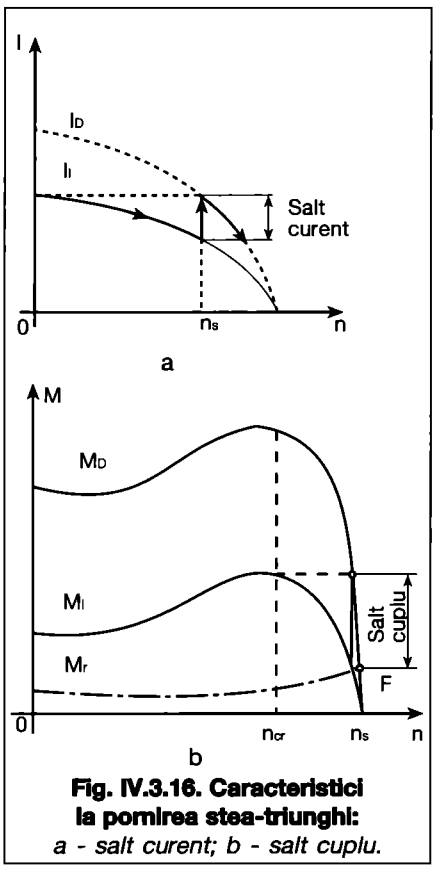


Fig. IV.3.16. Caracteristici la pornirea stea-triunghi:
a - salt curent; b - salt cuplu.

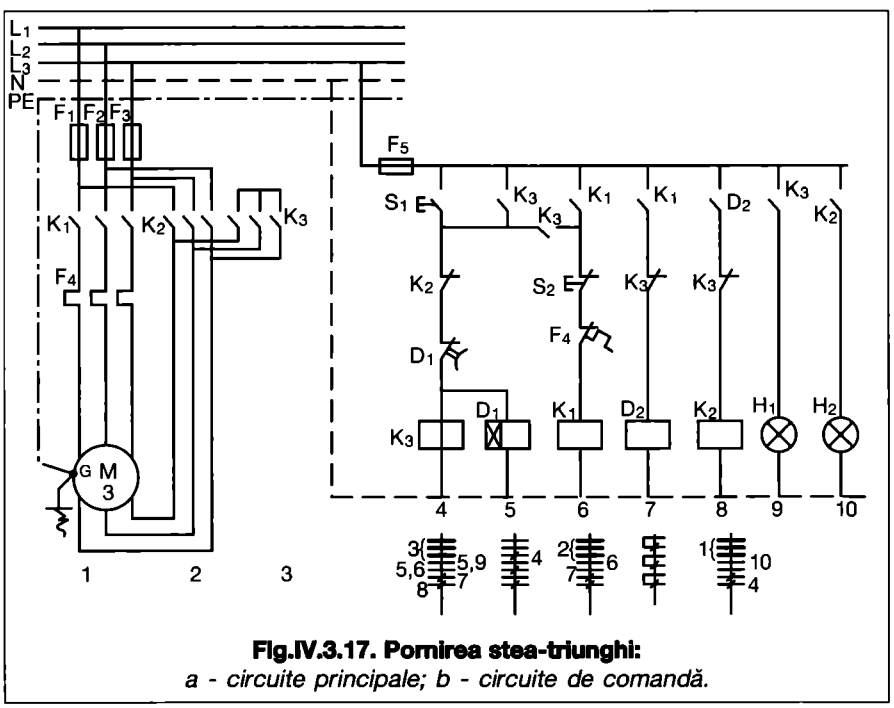


Fig.IV.3.17. Pornirea stea-triunghi:
a - circuite principale; b - circuite de comandă.

Pornirea cu tiristoare se realizează ca în fig. IV.3.18.

Circuitul de forță conține: siguranțele fuzibile F_1...F_3, contactele principale ale contactorului K_1, blocul sesizor de curent F_4 și contactorul static propriu-zis blocul CS.

Partea aferentă a schemei de comandă cuprinde circuitul de comandă manuală a contactorului K_1, respectiv butonul de oprire S_1, butonul de pornire S_2 în paralel cu contactul de automenținere K_1, bobina contactorului K_1 și circuitul aferent dispozitivului de comandă pe poartă DCP prin intermediul căruia se comandă CS.

Pentru pornire se acționează butonul S_2 prin care se permite circulația de curent prin circ. 3. Contactorul K_1 anclanșează, se închid contactele K_1 din circ. 1 prin care se pune sub tensiune circuitul de forță, se închide contactul de automenținere din circ. 4 și se închide contactul K_1 din circ. 5 prin care se alimentează DCP. În acest tip de schemă, contactorul K_1 este folosit ca separator, iar din punct de vedere funcțional butonul S_1, de impuls, îndeplinește funcția de stop de urgență sau izolare. Butonul S_2 îndeplinește funcția de conectare generală, este de tip impuls cu cheie (yale). Prin aceasta se evită punerea sub tensi-une a instalației pe timpul depanării sau întreținerii de către persoane neavizate. CS conține tiristoarele V_1...V_6 montate câte două antiparalel pe fiecare fază. Când tiristoarele nu sunt comandate, ele prezintă o rezistență directă practic infinită; se izolează astfel circuitul de forță pentru ambele semialternanțe, nemaitrecând prin tiristoare decât un curent rezidual, ca valoare foarte apropiat de zero. Când sunt comandate, rezistența directă devine aproape zero și prin tiristoare va circula curentul absorbit de înfășurările motorului, căderea de tensiune pe ele fiind neglijabilă. DCP este un bloc electronic specializat prin intermediul căruia se generează impulsurile de comandă necesare deschiderii tiristoarelor.

În principiu, DCP (fig. IV.3.19) conține un circuit de sincronizare (detector de trecere prin zero al sinusoidelor), un circuit de declanșare și formare a impulsurilor, un circuit de basculare cu prag pentru blocarea impulsurilor în caz de depășire a valorii limită admisibilă a curentului și o sursă de tensiune stabilizată necesară bunei funcționări a dispozitivului. În fig. IV.3.20 este indicat modul de obținere a impulsurilor de comandă pentru tiristoare pe o fază.

Forma reală a sinusoidei, ajunge la circuitul de sincronizare de la transformatorul de curent F_4 pe circuitul 7 (fig. IV.3.18). În momentul trecerii prin zero, circuitul de declanșare permite începerea generării unei tensiuni liniar crescătoare U_c, cu panta (definită prin unghiul β), variabilă manual prin intermediul potențiometrului P (fig. IV.3.19). La coincidența valorilor tensiunii crescător liniare cu tensiunile de referință U_r, se generează impulsurile de deschidere a tiristoarelor, astfel că în circuitul de forță se obține o tensiune U_f. Se poate observa de asemenea influența variației pantei tensiunii U_c prin intermediul potențiometrului P dacă unghiul β se micșorează, unghiul de "aprindere" α se micșorează corespunzător, timpul de conducție pe tiristoare fiind mai mic. Prin aceasta se poate controla puterea pe sarcină, de la o conducție totală (când α = 180°) până la blocare totală (când α = 0°).

În CS cele șase tiristoare V_1...V_6, (fig. IV.3.18) pot fi înlocuite cu trei triacuri, DCP având aceeași structură. Acest tip de pornire poate fi utilizat pentru orice puteri ale motoarelor, dimensionând CS în funcție de curenții de pornire corepunzători.

3.2.1.2. Comanda motoarelor electrice asincrone trifazate cu rotorul bobinat

Pornirea cu rezistențe în circuitul rotoric se efectuează atunci când nu sunt îndeplinite condițiile de utilizare a unui motor asincron cu rotorul în colivie, sau

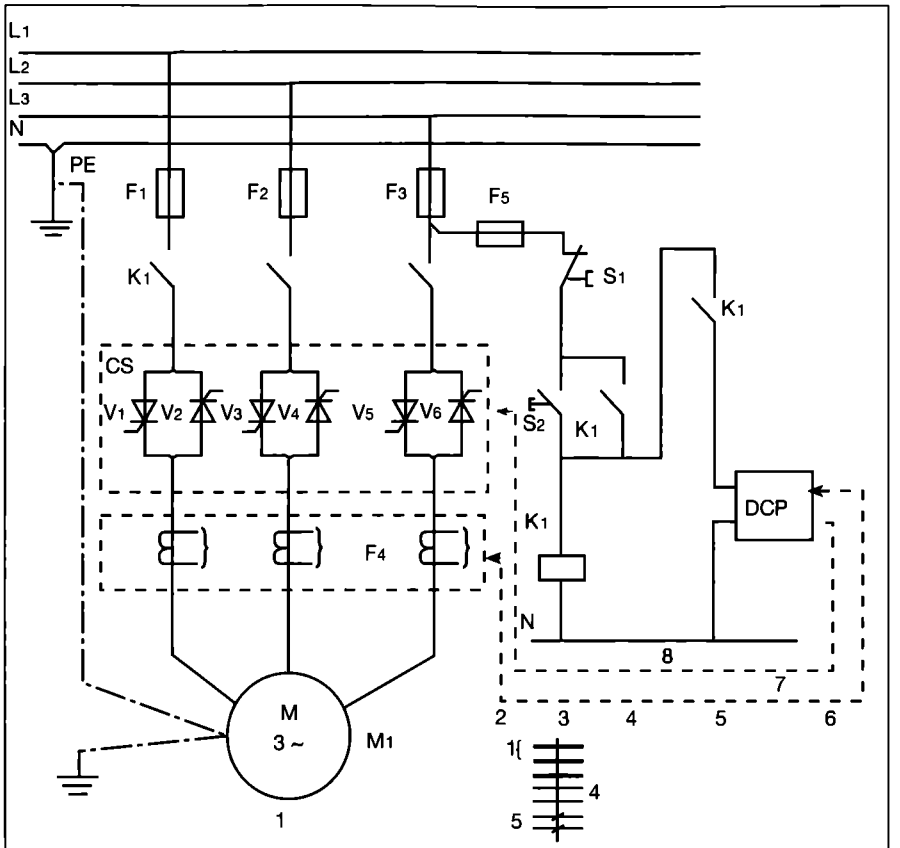


Fig. IV.3.18. Pornirea cu tiristoare.

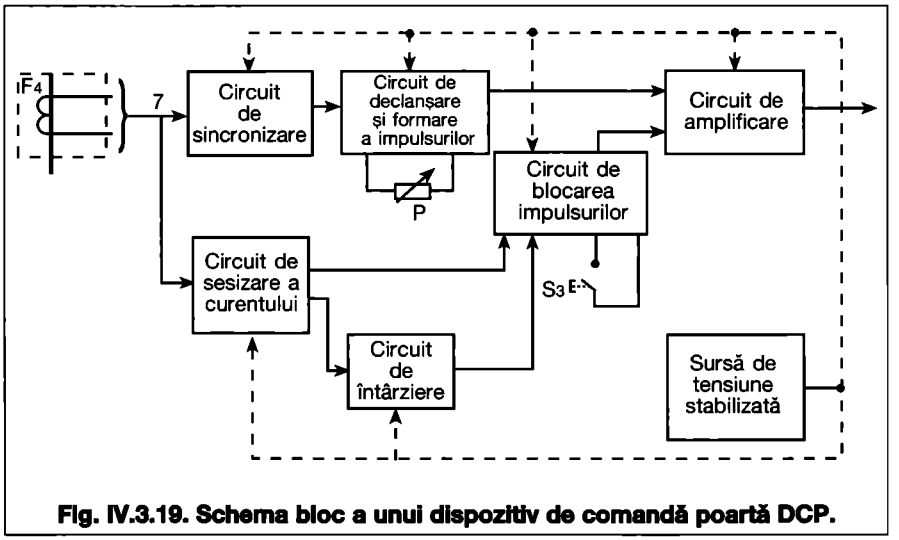


Fig. IV.3.19. Schema bloc a unui dispozitiv de comandă poartă DCP.

instalația tehnologică impune utilizarea unui astfel de tip de motor.

Valoarea cuplului maxim dat de motor M_{max} este independentă de valoarea rezistenței circuitului rotoric, iar alunecarea s_m (corespunzătoare M_{max}) este direct proporțională cu rezistența de fază rotorică.

În fig. IV.3.21 sunt arătate curbele M = f(s) pentru diferite valori ale rezistenței suplimentare R_s (caracteristici artificiale). Pe măsură ce R_s scade, maximul cuplului se deplasează spre alunecări *s* mai mici. Știind că:

$n = n_1 (1 - s)$ (3.2.13)

în care:

n - este turația motorului la un moment dat;

n_1 - turația de sincronism;

s - alunecarea

rezultă că atunci când *s* scade turația *n* crește.

Se poate alege o rezistență $R_s = R_3$ pentru care la pornire *(s = 1)* cuplul să fie egal cu cuplul maxim (curba d). În momentul pornirii, rezistența suplimentară de pornire R_3 trebuie să fie suficient de mare, pentru a asigura un cuplu de pornire mai mare decât cuplul rezistent M_r. În această situație, rotorul se accelerează, alunecarea scade, iar cuplul scade după curba d până la o anumită valoare corespunzătoare punctului A, când se intervine și se micșorează brusc rezistența suplimentară de la valoarea R_3 la R_2. Punctul de funcționare „sare" pe caracteristica artificială *c*, corespunzătoare R_2. Rotorul este din nou solicitat la un cuplu mare, punctul de funcționare se deplasează pe curba c spre alunecări mai mici, cuplul scăzând treptat. În punctul B se intervine din nou (ca la punctul A) ș.a.m.d., până când rezistența suplimentară se micșorează la zero, așa încât punctul de funcționare se deplasează pe caracteristica naturală ($R_s = 0$) până în F și procesul tranzitoriu de pornire ia sfârșit. În fig. IV.3.21 este dată variația cuplurilor în funcție de turație *M = f(n)*.

Rezistențele montate în circuitul rotoric sunt metalice. Ele sunt împărțite în mai multe trepte. Valoarea rezistențelor pe o treaptă poate fi aceeași pentru toate fazele (rezistențe simetrice) sau diferite într-un anumit raport (rezistențe asimetrice).

Pornirea cu rezistențe în circuitul rotoric se poate efectua manual și automat.

Pornirea manuală are la bază utilizarea rezistențelor metalice și a controlerelor.

În fig. IV.3.22 este arătat modul în care se efectuează comanda manuală a variației valorii rezistențelor electrice din circuitul rotoric, în vederea reglării turației motorului electric M_1. cu ajutorul controlerului S_3. Tot prin S_3 se realizează și se alege și sensul de rotație al M_1.

În circuitul statorului motorului M_1 sunt montate limitatoarele S_1 și electromagnetul de frână M_2.

În circuitul rotoric sunt montate rezistențele metalice R_1...R_6.

De la rețea este alimentat controlerul S_3 după cum urmează: faza L_1 - borna R și faza L_3 - borna T. Faza L_2 este conectată prin intermediul liniei de contact LC și a periilor P, direct la M_1, borna V. Atâta timp cât S_3 este pe poziția 0, M_1 este oprit. Dacă S_3 este acționat pe primul plot 1 spre stânga se scurtcircuitează bornele R - A_1 și T - C_1. Ca urmare, se închid circuitele: L_1 - R- A_1 - S_17-9 - LC - P - borna W a M_1 și L_3 - T - C_1 - S_13-5 - LC - P - borna U. Cum circuitul L_2 - LC - P - borna V este închis, rezultă că M_1 este alimentat trifazat de la L_1, L_2, L_3 prin bornele U, V, W. În această situație, M_1 pornește și concomitent se ridică M_2. M_1 are o turație mică, deoarece R_1...R_6 sunt conectate în circuitul rotoric. Se trece S_3 pe plotul 2. În această situație în afara bornelor scurtcircuitate la acționarea S_3 pe plotul 1 se mai scurtcircuitează bornele a_3 - 0 prin aceasta scurtcircuitându-se rezistența R_1. M_1 se accelerează și turația crește. La trecerea S_3 pe plotul 3 se scurtcircuitează și R_2, turația lui M_1 crescând. La trecerea S_3 pe plotul 4 se scurtcircuitează și R_3 turația crescând în continuare. La trecerea S_3 pe plotul 5 se scurtcircuitează bornele a_2, b_2, c_2 și prin aceasta grupul de rezistențe R_4, M_1 mărindu-și în continuare turația. Asemănător la trecerea S_3 pe plotul 6 și 7 se scurtcircuitează bornele a_1, b_1, c_1 și respectiv a, b, c astfel încât M_1 funcționează pe caracteristica naturală, turația fiind cea nominală.

Când M_1 își realizează cursa maximă, se deschide S_1. Ca urmare, rămân nealimentate bornele U, W ale M_1 și acesta rămânând alimentat cu o fază L_2 se oprește.

Pentru funcționarea M_1 în sens invers (dreapta) se trece maneta S_3 pe ploturile 1...7 la dreapta, inversându-se fazele L_1 și L_3 printr-un alt limitator S_2 (analog lui S_1).

Pornirea motoarelor electrice asincrone cu rotorul bobinat cu rezistențe în circuitul rotoric se efectuează în funcție de timp, curent și turație.

Aceste porniri se exemplifică prin *pornirea automată în funcție de curent*

În fig. IV.3.23 este prezentată o schemă de pornire a motoarelor asincrone cu rezistențe electrice în circuitul rotoric în funcție de curent. Pentru scurtcircuitarea treptelor de rezistență sunt utilizate relee de curent.

În cazul prezentat sunt trei trepte de rezistențe R_1, R_2, R_3 (circ. 1) și trei relee de curent K_1, K_2, K_3 (circ. 1). Pornirea motorului M_1 se realizează prin acționarea butonului de pornire s2 (circ. 3), care închide calea de curent pe circ. 3. Contactorul K_4 anclanșează, contactele principale K_4 (circ. 1) se închid conectând înfășurările statorice ale motorului M_1 la rețea și cnd K_4 (circ. 4) se închide realizând automenținerea. În același timp se pune sub tensiune bobina releului de timp D_1 (circ. 4). Din cauza curentului mare rotoric la pornire (I) toate releele de curent K_1, K_2, K_3 vor

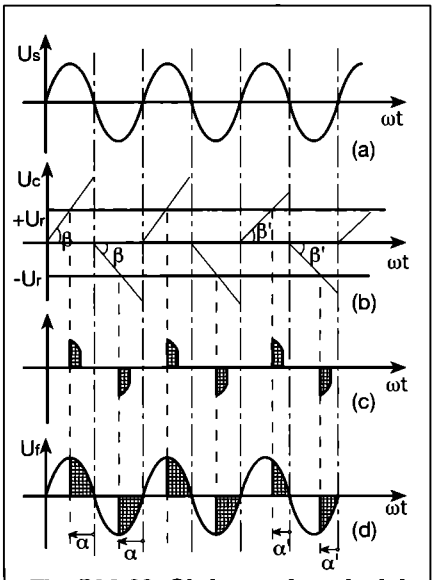


Fig. IV.3.20. Obținerea impulsului de comandă pe o fază.

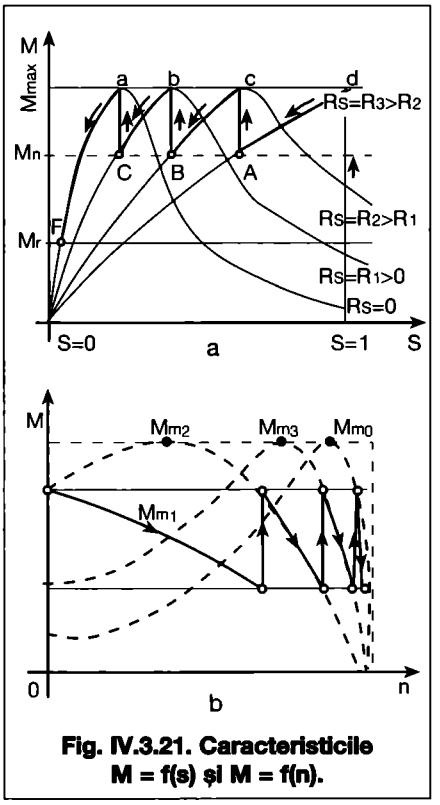


Fig. IV.3.21. Caracteristicile M = f(s) și M = f(n).

anclanșa, deschizând contactele normal închise K_1, K_2, K_3 (circ. 5, 6, 7). După un timp, cndtî D_1 (circ. 5) se închide pregătind scurtcircuitarea treptelor de rezistențe din circuitul rotoric. Releul de timp D_1 a fost introdus în schema de comandă pentru a evita scurtcircuitarea treptei de rezistențe R_1, prin anclanșarea contactorului K_5, înaintea deschiderii contactului releului de curent K_1 (circ. 5). După pornire, motorul se accelerează, funcționând pe caracteristica artificială corespunzătoare întregii rezistențe suplimentare din rotor. Curentul în circuitul rotoric scade sub valoarea curentului I_1 ($I > I_1$) de anclanșare a releului de curent K_1, bobina acestuia se dezexcită închizând contactul K_1 (circ. 5). În felul acesta se stabilește circuitul contactorului K_5 care va închide contactele principale K_5 (circ. 2), scurtcircuitând treapta de rezistență R_1. Concomitent se închide cnd K_5 (circ. 6) care pregătește scurtcircuitarea treptei de rezistențe R_2.

Curentul în circuitul rotoric crește până la o valoare apropiată de I_1 după care scade sub valoarea curentului I_2 ($I_1 > I_2$) de anclanșare a releului de curent K_2, bobina acestuia se dezexcită închizând cnd K_2 (circ. 6). Bobina contactorului K_6 (circ. 6) este alimentată și se închid contactele principale K_6 (circ. 2), scurtcircuitând treapta de rezistențe R_2. Concomitent se închide cnd K_6 (circ. 7) care pregătește scurtcircuitarea treptei de rezistențe R_3. Curentul crește din nou până la o valoare apropiată de I_2 după care scade sub valoarea curentului I_3 ($I_1 > I_2 > I_3$) de anclanșare a releului de curent K_3, bobina acestuia dezexcitându-se. Se închide contactul K_3 (circ. 7) anclanșează bobina contactorului K_7 realizând scurtcircuitarea treptei de rezistențe R_3 (se închid contactele principale K_7 - circ. 2).

În același timp se realizează și o automenținere prin închiderea contactorului K_7 (circ. 8). Astfel, punctul de funcționare al motorului ajunge pe caracteristica naturală. Oprirea motorului se realizează prin acționarea butonului de comandă, S_1 (circ. 3). În schema de comandă este folosit contactul de protecție a releului termic F_4 (circ. 3), care în caz de avarie va întrerupe circ. 3, deci alimentarea bobinei contactorului K_4, realizând oprirea motorului în vederea protejării acestuia.

Pornirea cu rezistențe și amplificatoare magnetice în circuitul rotoric

În fig. IV.3.24 este prezentată schema electrică desfășurată pentru pornirea automată a unui motor asincron cu rotorul bobinat utilizând amplificatoare magnetice montate în circuitul rotoric. Principiul de funcționare constă în scurtcircuitarea rezistențelor R_1 montate în circuitul rotoric, prin intermediul înfășurărilor de lucru ale amplificatoarelor magnetice A_1, A_2, A_3.

Înfășurările de comandă ale amplificatoarelor magnetice sunt legate în serie și sunt alimentate de la bornele unui tahogenerator. Pornirea motorului M_1 se realizează prin acționarea butonului de comandă S_2 (circ. 3), care închide circ. 3. Bobina contactorului K_1 (circ. 3) este alimentată, contactorul își atrage armătura închizând contactele principale K_1 (circ. 1) și contactul auxiliar K_1 (circ. 4).

Prin închiderea contactelor principale K_1 statorul motorului este conectat la rețea, iar închiderea contactului auxiliar K_1 realizează automenținerea. La început, deoarece înfășurările de comandă ale amplificatoarelor magnetice nu sunt alimentate, reactanța inductivă a înfășurărilor de lucru este mare și deci curentul va trece în cea mai mare parte prin rezistențele de pornire R_1 (circ. 1). Pe măsură ce motorul se accelerează, crește turația și odată cu aceasta tensiunea la bornele tahogeneratorului, ceea ce conduce la creșterea curentului în înfășurările de comandă ale amplificatoarelor magnetice. În felul acesta reactanța inductivă a înfășurărilor de lucru scade și o parte din ce în ce mai

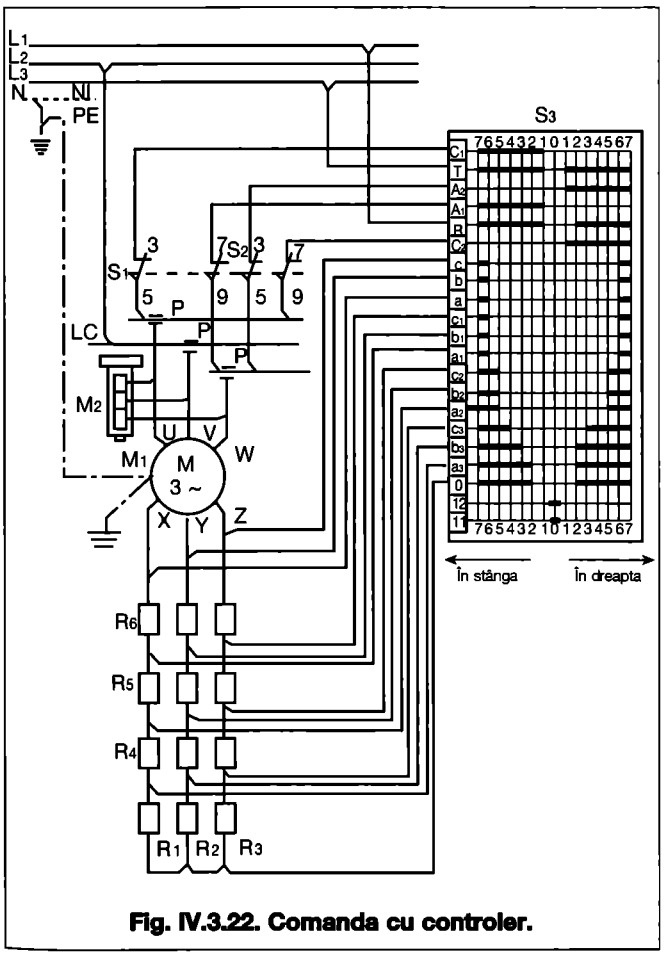
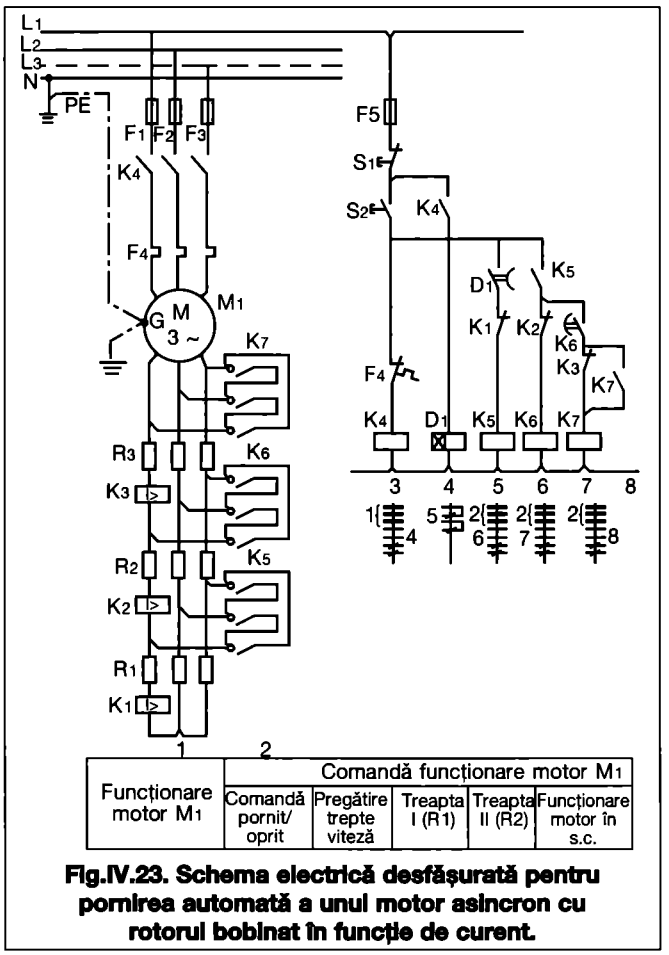


Fig. IV.3.22. Comanda cu controler.



Funcționare motor M_1	Comandă funcționare motor M_1				
	Comandă pornit/ oprit	Pregătire trepte viteză	Treapta I (R1)	Treapta II (R2)	Funcționare motor în s.c.

Fig.IV.23. Schema electrică desfășurată pentru pornirea automată a unui motor asincron cu rotorul bobinat în funcție de curent.

mare din curentul rotoric se va închide prin aceste înfășurări. Când turația motorului atinge viteza nominală, tensiunea la bornele tahogeneratorului este mare, curentul în circuitul de comandă crește și reactanțele inductive ale înfășurărilor de lucru devin practic nule, astfel încât aproape întreg curentul rotoric trece prin aceste înfășurări. Rezistențele R_1 din circuitul rotoric pot fi considerate în acest caz scurtcircuitate. Oprirea motorului se realizează prin acționarea butonului S_1 (circ. 3) sau automat în cazul unei avarii când se deschide contactul auxiliar al releului termic F_4 (circ. 3).

Pornirea și reglarea turației motoarelor asincrone cu rotorul bobinat prin conectarea în cascadă subsincronă

Se bazează pe recuperarea puterii din rotor și injectarea ei în rețeaua de alimentare. În acest scop din momentul când motorul a intrat în regim de funcționare, se elimină rezistențele rotorice în care se consumă puterea și se introduce între rotor și rețeaua de alimentare un dispozitiv electronic de putere prin intermediul căruia puterea din rotor se dirijează controlat în rețeaua de alimentare. Dispozitivul trebuie să funcționeze astfel încât să fie urmărite caracteristice mecanice artificiale ale motorului menținând valoarea cuplului critic constantă și variind alunecarea.

Termenul de cascadă subsincronă se referă la faptul că dispozitivul electronic de putere, care este realizat în cascadă, permite reglarea turației într-o plajă de valori cu limita superioară întotdeauna sub turația de sincronism a motorului.

3.2.1.3 Comanda frânării motoarelor electrice

Oprirea unui motor electric se efectuează prin întreruperea alimentării cu energie electrică a înfășurărilor statorului motorului. Aceasta se realizează prin întreruperea circuitului de alimentare al bobinei contactorului, care se dezexcită și contactele sale revin la poziția inițială (contactele principale se deschid). Prin deschiderea contactelor principale înfășurările statorului motorului rămân nealimentate și câmpul magnetic învârtitor dispare. Datorită energiei cinetice pe care o înmagazinează, rotorul se învârtește în continuare. Când energia cinetică este consumată de pierderile prin frecare și de consumul de energie al mecanismului cuplat, rotorul se oprește.

Întreruperea circuitului de alimentare al bobinei contactorului se poate obține manual prin acționarea unui buton de oprire sau automat prin întreruperea circuitului de limitatoare de cursă, contacte de protecție etc.

Sunt cazuri în care oprirea utilajelor și deci a motoarelor electrice care le antrenează trebuie să se producă cât mai repede față de momentul inițierii comenzii de oprire. Reducerea timpului de oprire conduce la micșorarea timpilor morți și deci la creșterea productivității utilajelor respective.

Din aceste motive apare necesară frânarea.

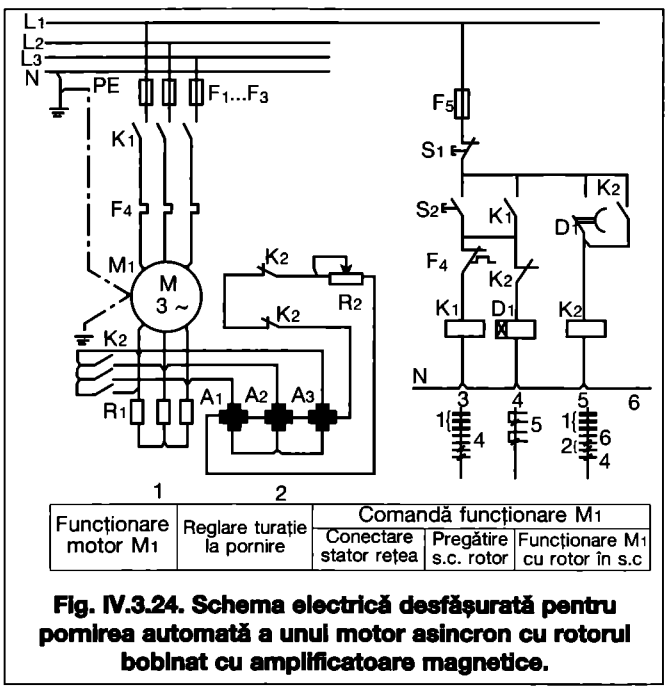
Frânarea unui motor electric în vederea opririi lui se efectuează mecanic sau electric. Frânarea mecanică se execută cu frâne cu saboți sau panglică, comandate în general de electromagneți de frână sau frâne electrohidraulice, care intră în acțiune în momentul în care motorul electric este deconectat de la rețea. Frânarea electrică utilizată la oprire, sau reversare, se realizează prin frânare dinamică (reostatică), frânare prin cuplare inversă (contra curent) și frânare prin recuperare.

Regimul de frânare dinamică

Frânarea dinamică se realizează prin creșterea pierderilor de putere în părțile rotitoare. Pentru aceasta este utilizat un câmp magnetic fix față de stator, creat prin alimentarea cu curent continuu a înfășurărilor statorice ale motorului.

Prin învârtirea rotorului în câmpul magnetic constant creat prin alimentarea cu curent continuu a înfășurărilor statorice, în rotor se induc tensiuni electromotoare, respectiv curenți, care datorită rezistențelor rotorului, produc pierderi de energie prin degajare de căldură de forma Ri^2t, care conduc la reducerea mai rapidă a energiei cinetice inițiale a rotorului. Practic, aceasta se obține prin deconectarea alimentării statorului de la rețea și alimentarea lui în curent continuu.

În fig. IV.3.25 este arătat modul în care se realizează frânarea dinamică la un motor asincron cu rotorul în colivie. Pentru pornire, se acționează butonul de pornire S_2; se închide circ. 4 și anclanșează bobina contactorului de linie K_1. Ca urmare, se închid contactele principale K_1 din circ. 1 (motor electric M_1 pornește), se închide cnd K_1 din circ. 5 (de automenținere) și se deschide cnî K_1 din circ. 3, fiind în condițiile de funcționare normală. Pentru oprire se acționează butonul de oprire S_1; se întrerupe circ. 4, se dezexcită bobina contactorului K_1 (este întreruptă alimentarea cu energie electrică a M_1),



Funcționare motor M_1	Reglare turație la pornire	Comandă funcționare M_1		
		Conectare stator rețea	Pregătire s.c. rotor	Funcționare M_1 cu rotor în s.c

Fig. IV.3.24. Schema electrică desfășurată pentru pornirea automată a unui motor asincron cu rotorul bobinat cu amplificatoare magnetice.

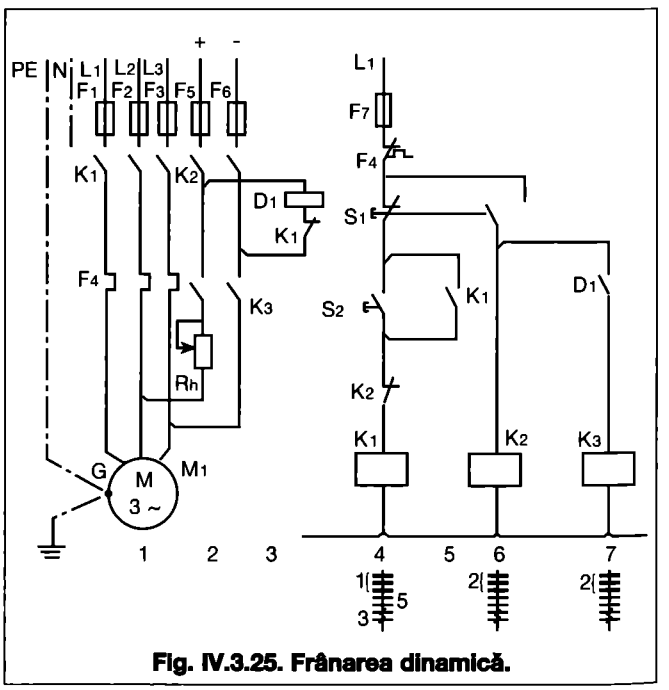


Fig. IV.3.25. Frânarea dinamică.

se deschide contactul de automenținere K_1 și se închide contactul K_1 din circ. 3 de pregătire a închiderii contactorului de frânare K_3. Concomitent cu întreruperea circ. 4 (la acționarea S_1) se închide circ. 6 și anclanșează bobina contactorului K_2, care închide contactele din circ. 2. Bobina releului de frânare dinamică D_1 este pusă sub tensiune și închide cnd D_1 din circ. 7. Aceasta conduce la închiderea circ. 7 și la anclanșarea bobinei contactorului de frânare K_3 care închide contactele principale din circ. 2. În acest moment s-a realizat alimentarea a două înfășurări statorice în curent continuu ceea ce determină oprirea mai rapidă a rotorului.

Regimul de frânare prin cuplare inversă

Cuplarea inversă se obține prin inversarea legăturilor a două faze ale statorului (la circuitul de alimentare cu energie electrică al motorului), în timpul funcționării (fig. IV.3.7).

Prin aceasta se modifică sensul de rotire a câmpului învârtitor din stator, deci sensul cuplului dat de motor, care devine cuplu de frânare. Inversarea legăturii la rețea a două faze în timpul funcționării motorului produce un curent de inversare I_i, care este mai mare decât curentul de pornire I_p Din această cauză, apare necesară introducerea unor rezistențe electrice în circuitul rotoric al motorului, rezistențe numite de cuplare inversă.

Regimul de frânare cu recuperare de energie electrică

Regimul de frânare cu recuperare are loc în condițiile în care statorul este conectat la rețea, iar rotorul este învârtit într-un mod oarecare cu o turație n mai mare decât viteza sincronă n_0 ($n > n_0$). În această situație motorul în loc să absoarbă, va furniza energie electrică în rețea; rotorul său este frânat cu atât mai puternic cu cât energia electrică furnizată va fi mai mare. Aplicarea acestei metode este eficientă în tracțiunea electrică unde, pe pante lungi, se pot recupera cantități apreciabile de energie electrică.

Schemele de comandă pentru frânarea motoarelor electrice sunt caracteristice diferitelor tipuri de motoare electrice, respectiv asincrone și curent continuu.

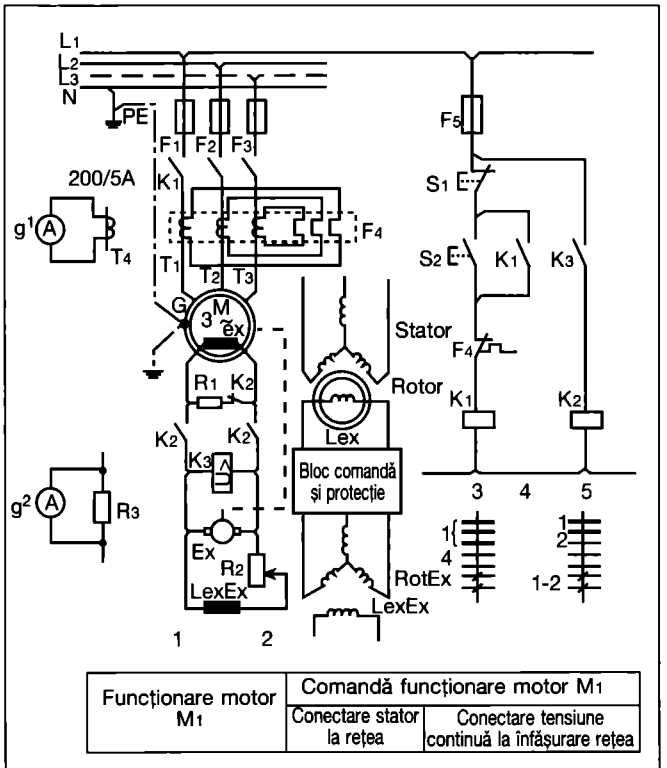
3.2.2. Comanda motoarelor electrice sincrone

În fig. IV.3.26 este dată schema electrică desfășurată pentru comanda motorului electric sincron.

La acționarea butonului de pornire S_2 se închide circ. 3. Ca urmare, anclanșează bobina contactorului K_1 care închide contactele principale din circ.1 și motorul sincron M_1 pornește în asincron și concomitent închide cnd K_1 din circ. 4 de automenținere. Suntem în condițiile în care M_1 funcționează în asincron. Pe același arbore cu M_1 este montată excitatricea Ex (mașină de c.c.). Odată cu creșterea turației n a M_1 crește și turația Ex. La bornele Ex se obține o tensiune electromotoare e proporțională cu n, respectiv $e = f(n)$. Tensiunea e necesară este asigurată de înfășurarea de excitație a excitatricii LexEx și reglată cu reostatul de excitație R_2. Când turația n este suficient de mare pentru ca Ex să producă tensiunea e necesară (circa 95 % din turația de sincronism n_s), atunci bobina releului de tensiune K_3 anclanșează. Ca urmare se închide cnd K_3 din circ. 5 și anclanșează bobina contactorului K_2. Bobina K_2 deschide cnî K_2 (circ. 1-2) și închide cnd principale K_2 din circ. 1 și 2. Prin închiderea celor două cnd principale K_2 se pune sub tensiune înfășurarea de excitație Lex a M_1, cu tensiunea produsă de Ex. Prin parcurgerea Lex de curentul produs de Ex se creează un câmp magnetic, care în interacțiune cu câmpul învârtitor statoric produc un cuplu electromagnetic corespunzător mașinii sincrone excitate.

Suprapunerea câmpului indus de Lex peste câmpul învârtitor statoric determină apariția unor oscilații de turație, care fac ca rotorul să atingă turația de sincronism și, de multe ori, să o depășească pentru scurte intervale de timp. După mai multe oscilații ale turației în jurul valorii de sincronism, motorul intră în sincronism.

La oprire se acționează butonul de oprire S_1 care întrerupe alimentarea bobinei contactorului K_1 și M_1 se oprește.



Funcționare motor M_1	Comandă funcționare motor M_1	
	Conectare stator la rețea	Conectare tensiune continuă la înfășurare rețea

Fig. IV.3.26. Schema electrică desfășurată pentru comanda la pornirea motorului sincron.

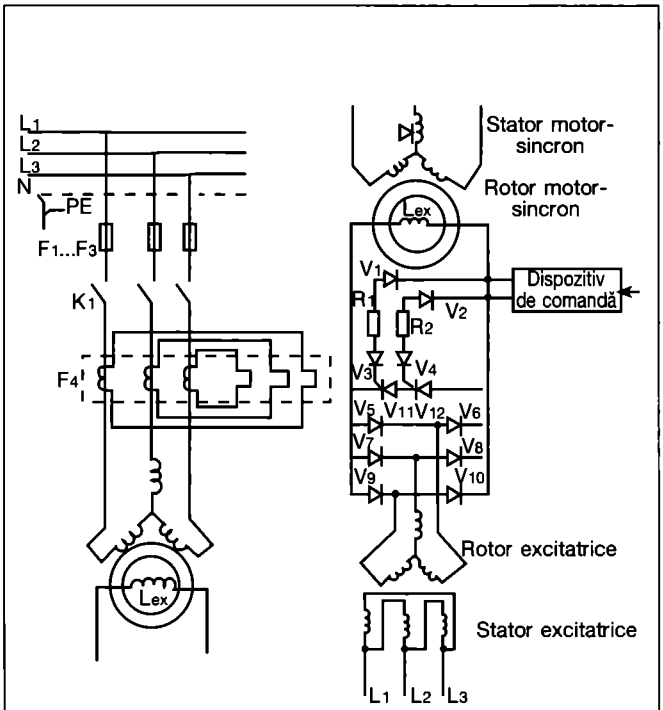


Fig. IV.3.27. Comanda motorului sincron utilizând tiristoare.

Observații:

1. Considerând că M_1 absoarbe curenți mari, pentru a asigura protecția termică se utilizează transformatoarele de intensitate T_1, T_2, T_3 conectate la relee termice de 5 A (F_4).
2. În timpul când M_1 funcționează în asincron este închis circuitul: K_2 - R_1 Lex. Aceasta este necesar pentru a evita apariția la bornele înfășurării de excitație Lex a tensiunii electromotoare induse mari care poate produce străpungerea izolației conductoarelor înfășurării respective.
3. Pentru reglarea tensiunii produse de excitatricea Ex la care releul maximal de tensiune K_3 să anclanșeze, se utilizează înfășurarea de excitație a excitatricei LexEx și rezistența de excitație R_2.
4. Măsurarea intensității curentului în circuitul statoric se efectuează prin intermediul unui transformator de intensitate T_4 și a unui ampermetru de 5 A, g[1]. Măsurarea intensității curentului în circuitul rotoric parcurs de curent continuu se efectuează prin intermediul unui șunt R_3 și al unui ampermetru de 5 A, g[2].

Pentru a evita utilizarea excitatricei Ex (mașina de curent continuu cu perii) se pot utiliza redresoare statice.

În fig. IV.3.27 este arătată schema de comandă a unui motor sincron care este excitat cu o punte cu tiristoare.

Când turația este mică, dispozitivul de comandă al tiristoarelor V_{11}, V_{12} deschide tiristoarele. Diodele V_1...V_4 au rol de limitare. În această situație, statorul și rotorul excitatricei sunt realizate dintr-un transformator triunghi-stea conectat direct la rețea. Din secundarul realizat în conexiune stea tensiunile sunt introduse într-o punte trifazată formată din diodele V_5...V_{10}, la bornele cărora se obține o tensiune continuă. Pe măsură ce turația crește, dispozitivul de comandă începe să închidă tiristoarele V_{11}, V_{12}. Când tiristoarele V_{11}, V_{12} sunt deschise, curentul continuu produs de tensiunea existentă la bornele punții de diode V_5...V_{10} circulă prin tiristoarele V_{11}, V_{12}. Cu cât dispozitivul de comandă închide mai mult tiristoarele V_{11}, V_{12}, cu atât va trece prin ele un curent mai mic și, prin înfășurarea de excitație Lex, va trece un curent mai mare. Corespunzător situației când turația reprezintă circa 95 % din turația de sincronism, tiristoarele V_{11}, V_{12} se închid complet și tot curentul produs de puntea trifazată cu diode este dirijat în sensul parcurgerii înfășurării de excitație Lex. În acest moment, motorul intră în sincronism.

Observație: Relația,

$$\omega_r = S \cdot \omega_s \qquad (3.2.14)$$

poate fi scrisă și sub forma

$$f_r = s \cdot f_s \qquad (3.2.15)$$

în care:

ω_r, f_r - reprezintă pulsația respectiv frecvența curentului rotoric ;

ω_s, f_s - pulsația respectiv frecvența curentului la sincronism;

s - alunecarea.

Cunoscând că conectarea excitatricei Ex pe înfășurarea de excitație Lex se face când s = 5 %, acesta revine la a scrie:

$f_r = 0{,}05$

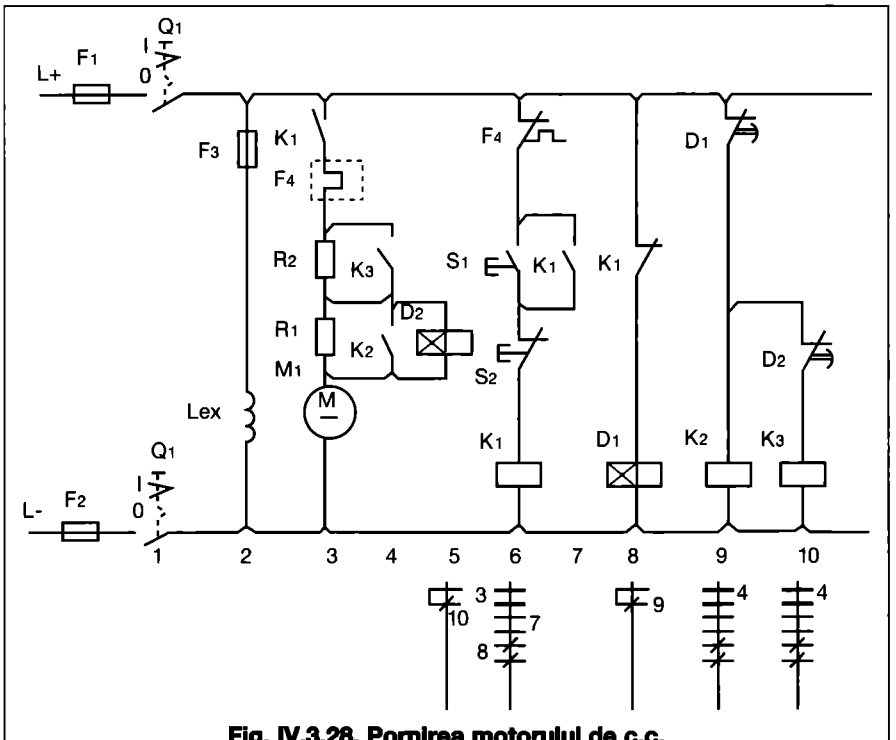


Fig. IV.3.28. Pornirea motorului de c.c. cu excitație independentă în funcție de timp.

$f_s = 0{,}05 \cdot 50 = 2{,}5$ Hz (3.2.16)

Rezultă că introducând în M_1 un dispozitiv care să sesizeze frecvența de 2,5 Hz sau o frecvență ceva mai mică, cu acesta s-ar putea controla atingerea turației la care trebuie închis circuitul de alimentare a înfășurării de excitație Lex cu tensiune continuă în vederea intrării în sincronism. În aceste condiții excitatricea Ex ar putea fi înlocuită cu un redresor.

Este necesar a se realiza un dispozitiv eficient care să sesizeze frecvențe mai mici de 2,5 Hz.

3.2.3. Comanda motoarelor de curent continuu

Pornirea motoarelor de curent continuu nu poate fi efectuată direct, deoarece acestea absorb un curent foarte mare la pornire.

Intensitatea curentului prin indusul mașinii de curent continuu funcționând în regim de motor are expresia:

$$I = (U-E)/R_a \qquad (3.2.17)$$

în care:

U - este tensiunea aplicată la bornele motorului;

E - tensiunea electromotoare depinzând de turație;

R_a - rezistența înfășurării indusului.

La pornire E = 0 și deoarece R_a are valori foarte mici rezultă că intensitatea curentului va crește către valori foarte mari. Din acest motiv pornirea nu se efectuează direct și este necesară introducerea unor rezistențe de pornire în circuitul indusului.

În instalațiile electrice și de automatizări sunt utilizate frecvent motoarele electrice de curent continuu cu excitație independentă.

Pornirea motoarelor de curent continuu cu excitație independentă se realizează în funcție de timp, curent și viteză.

Pornirea motoarelor de curent continuu cu excitație independentă în funcție de timp (fig. IV.3.28)

Prin închiderea întreruptorului Q_1 (circ. 1) se pune sub tensiune schema de comandă pentru pornire și se alimentează înfășurarea de excitație Lex. Releul de timp cu temporizare la revenire D_1 (circ. 8) deschide instantaneu contactul D_1 din circ. 9. Prin acționarea butonului de pornire S_1 se închide circ. 6 punându-se sub tensiune bobina contactorului K_1. Acesta închide contactul K_1 (circ. 3) punând sub tensiune indusul motorului M_1 și bobina releului de timp cu temporizare la revenire D_2 (circ. 5). Motorul pornește având conectat în circuitul rotoric rezistențele R_1 și R_2. Anclanșarea contactorului K_1 (circ. 6) determină și deschiderea contactului K_1 (circ. 8), întrerupând alimen-

tarea releului de timp D_1. După timpul prestabilit pe releul D_1 se închide contactul D_1 (circ. 9) realizând alimentarea bobinei contactorului K_2 din circ. 9 (contactul D_2 din circ. 10 este deschis, deci bobina contactorului K_3 nu este alimentată). Contactorul K_2 (circ. 4) scurtcircuitând prima treaptă de pornire (R_1) și bobina releului D_2. Bobina releului D_2 nu mai este alimentată. După timpul prestabilit pe D_2, contactul D_2 (circ. 10) se închide, determinând anclanșarea contactorului K_3. Contactul K_3 (circ. 4) se închide scurtcircuitând și cea de a doua treaptă (R_2).

Motorul funcționează în regim normal. Prin acționarea butonului S_2 (circ. 6) se întrerupe alimentarea contactorului K_1 (circ. 6), acesta determinând oprirea motorului. Elementele de comandă revin în poziția inițială pregătind schema pentru o nouă pornire. Schema prezintă dezavantajul că reglajul releelor de timp D_1 și D_2 trebuie făcut pentru fiecare sarcină diferită a motorului.

Pornirea motoarelor de curent continuu cu excitație independentă în funcție de curent (fig. IV.3.29)

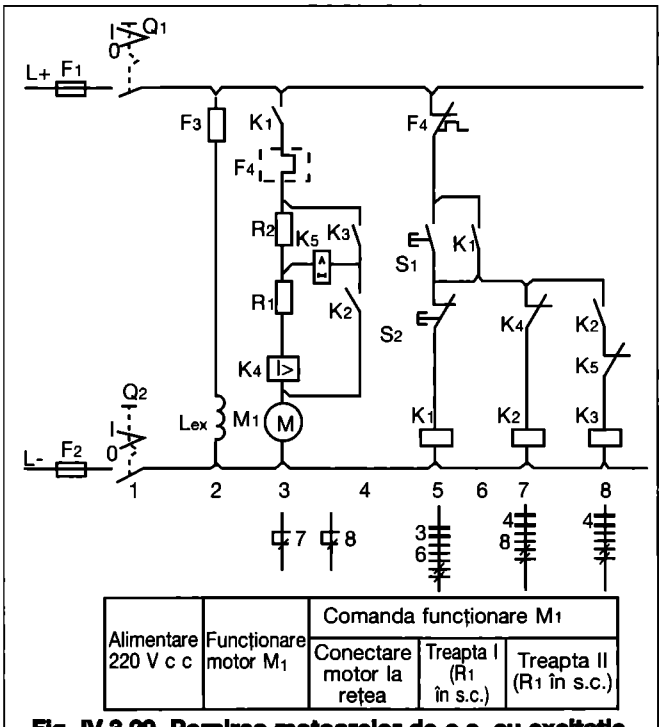
În acest caz pornirea motorului se face în funcție de curentul care străbate înfășurarea de excitație Lex și înfășurarea rotorică a motorului.

Schema de comandă se pune sub tensiune prin comutarea întreruptorului Q_1 (circ. 1) pe poziția închis „I". Sistemul de comandă funcționează în modul următor: după comutarea întreruptorului Q_1, se acționează butonul de comandă S_1 (circ. 5) prin intermediul căruia bobina K_1 a contactorului de linie va fi alimentată. Contactul K_1 (circ.3) se închide realizând alimentarea înfășurării rotorice a motorului M_1, conectat în serie cu rezistențele R_1 și R_2. La pornirea motorului, înfășurările rotorice vor fi străbătute de un curent de șoc, care va face ca releul de curent K_4 (circ. 3) să anclanșeze și contactul normal închis K_4 (circ. 7) să se deschidă. În consecință, bobina K_2 a primului contactor de accelerare nu va fi alimentată. În momentul în care curentul rotoric, în scăderea sa atinge o anumită valoare, releul K_4 declanșează, iar contactul său K_4 (circ. 7) revine în poziția inițială (se închide). Bobina K_2 (circ. 7) este străbătută de curent și se închide contactul K_2 (circ. 4) care scurtcircuitează prima treaptă de rezistențe R_1 (circ. 3). Curentul rotoric, înregistrează un nou șoc străbătând de data aceasta bobina K_5 (circ. 4) a celui de-al doilea releu de curent. Acest releu acționează deschizându-și contactul K_5 (circ. 8) împiedicând alimentarea bobinei K_3 (circ. 8) a celui de-al doilea contactor de accelerare deși contactul K_2 (circ. 9) este închis.

Atunci când curentul rotoric în scăderea sa atinge din nou o anumită valoare, releul K_5 (circ. 4) declanșează permițând închiderea contactului K_5 (circ. 8), urmată de alimentarea bobinei K_3 (circ. 8) și scurtcircuitarea celei de a doua trepte de rezisterîță R_2 (circ. 3) prin închiderea contactului K_3 (circ. 4). Oprirea motorului se realizează prin acționarea butonului de comandă S_2 (circ. 5), schema de comandă fiind pregătită pentru o nouă pornire.

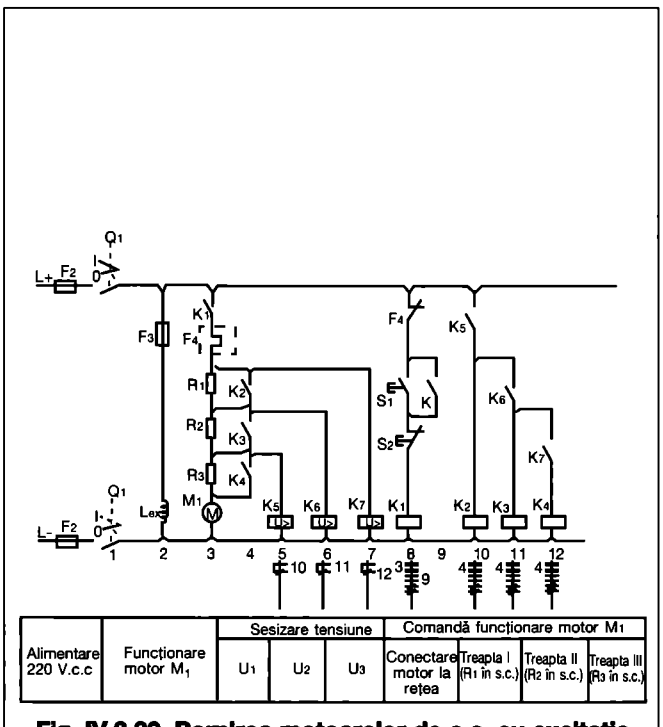
Pornirea motoarelor de curent continuu cu excitație independentă în funcție de viteză (fig. IV.3.30)

Viteza se măsoară indirect prin tensiunea electromotoare indusă în înfășurarea rotorică, pornirea realizându-se, de fapt, în funcție de tensiune. Pentru aceasta, schema de comandă este prevăzută cu trei relee K_5, K_6, K_7 care au tensiunea de anclanșare reglabilă. Pentru închiderea întreruptorului Q_1 (circ. 1) se pune sub tensiune schema de comandă pentru pornire și se alimentează înfășurarea de excitație Lex. Prin acționarea butonului S_1, contactul K_1 (circ. 8) anclanșează, închizând contactul K_1 (circ. 3) și motorul pornește având conectat în circuitul rotoric rezistențele R_1, R_2, R_3. Turația motorului crește și implicit și tensiunea indusă în înfășurarea rotorică, ajungând la valoarea de anclanșare a releului K_5 (circ. 5). Contactul K_5 (circ. 10) se închide, permițând alimentarea bobinei contactorului K_2 (circ. 10). Prin închiderea contactului K_2 (circ. 4) se scurtcircuitează prima treaptă de rezistențe (R_1 - circ. 3). Tensiunea crește în continuare determinând anclanșarea releului K_6 (circ. 6) și implicit a bobinei contactorului K_3 din circ. 11. Contactul K_3 (circ. 4) se închide și scurtcircuitează treapta de rezistență R_2. Când tensiunea devine egală cu tensiunea de anclanșare a releului K_7, contactul K_7 (circ. 7) se închide și contactorul K_4 (circ. 12) anclanșează determinând scurtcircuitarea ultimei trepte de rezistență R_3 (se închide contactul K_4 - circ. 4). Oprirea motorului



Alimentare 220 V c c	Funcționare motor M_1	Comanda funcționare M_1		
		Conectare motor la rețea	Treapta I (R_1 în s.c.)	Treapta II (R_1 în s.c.)

Fig. IV.3.29. Pornirea motoarelor de c.c. cu excitație independentă în funcție de curent.



Alimentare 220 V.c.c	Funcționare motor M_1	Sesizare tensiune			Comandă funcționare motor M_1			
		U_1	U_2	U_3	Conectare motor la rețea	Treapta I (R_1 în s.c.)	Treapta II (R_2 în s.c.)	Treapta III (R_3 în s.c.)

Fig. IV.3.30. Pornirea motoarelor de c.c. cu excitație independentă în funcție de turație.

se realizează prin acționarea butonului S_2 (circ. 8), care întrerupe alimentarea contactorului K_1 și implicit a motorului. Această schemă se folosește pentru comanda automată a motoarelor de puteri reduse.

3.2.4. Comanda cu program a motoarelor electrice

La instalațiile de încălzire, ventilare sau sanitare, pe lângă funcționarea automată în funcție de anumiți parametrii, poate să apară și necesitatea funcționării acestora după un anumit program.

Comanda cu program a motoarelor electrice se realizează prin intermediul releelor electromagnetice, a ceasurilor programatoare tip CPA, a programatoarelor electronice tip PIA, a programatoarelor cu matrici, a programatoarelor electronice etc.

3.2.5. Automate programabile

Generalități

Automatizarea instalațiilor include reglări automate, comenzi logice, comunicații între echipamente de automatizare, achiziții de date etc. Automatele programabile reprezintă o soluție modernă pentru implementarea tuturor funcțiilor automate impuse instalațiilor.

Domenii de aplicabilitate ale automatelor programabile la instalațiile din clădiri

Automatele programabile pot asigura supravegherea și conducerea instalațiilor din clădiri cum ar fi: iluminat, încălzire, climatizare, ventilare, securitate la incendii, control acces, grupuri electrogene, grupuri frigorifice, rețele hidraulice, sisteme antiefracție etc.

Conducerea instalațiilor menționate se poate realiza independent pentru fiecare instalație cu ajutorul unuia sau mai multor automate programabile configurate corespunzător și care trebuie să asigure toate sarcinile de automatizare impuse instalației.

Un nivel superior în automatizarea instalațiilor îl reprezintă realizarea unui sistem de conducere dedicat clădirilor, care să controleze funcționarea tuturor instalațiilor care echipează clădirile. Structura unui astfel de sistem automat este distribuită și ierarhizată și se poate aplica în următoarele cazuri: magazine mari, centre comerciale, hoteluri, bănci, clădiri administrative, spitale și clinici, universități etc. Denumirea actuală a sistemului complex de automatizare pentru clădiri mari este aceea de sistem de gestiune tehnică a clădirilor (fig. IV.3.31).

Funcțiile unui sistem de gestiune tehnică a clădirilor pot fi structurate astfel:

a) îmbunătățirea calității serviciilor, datorată unei mai bune supravegheri, unei conduceri optimale și a unei întrețineri preventive;
b) diminuarea consumurilor energetice prin exploatarea eficientă a instalațiilor;
c) diminuarea costurilor necesare funcționării instalațiilor prin programarea orară și optimizarea funcționării, deconectarea unor instalații în anumite situații, folosirea eficientă a sistemului de tarifare;
d) o mai bună exploatare a instalațiilor;
e) întreținere și activitate de service mai eficiente;
f) creșterea gradului de securitate a clădirilor, echipamentelor și personalului din clădiri.

Structura hardware și funcționarea automatelor programabile (fig. IV.3.32)

Arhitectura unui automat programabil cuprinde elementele hardware de bază ale unui calculator numeric. Totuși între un automat și un calculator există numeroase diferențe. Astfel, unitatea centrală este, în principiu, o unitate logică și aritmetică capabilă să interpreteze un număr mic de instrucțiuni prin care se exprimă funcțiile de bază ale unui proces automatizat.

Executarea instrucțiunilor din program, de obicei, este ciclică, ceea ce determină o simplificare considerabilă a structurii logice interne și evită introducerea unui sistem de întreruperi prioritare. Frecvența de baleiere a instrucțiunilor este foarte mare în raport cu constantele de timp ale procesului, ceea ce permite luarea în considerare a evenimentelor din proces imediat după ce acestea au avut loc. Memoria automatelor programabile stochează programe și date și este, în general, de mică capacitate în comparație cu memoria unui calculator.

Datorită modului cum este conceput,

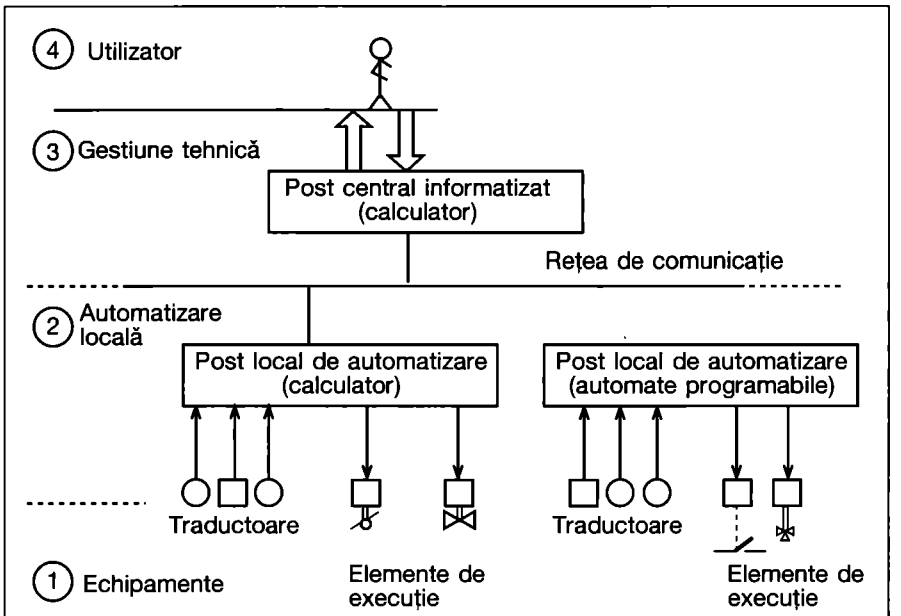


Fig. IV.3.31. Sistem de gestiune tehnică a clădirilor. Structura generală.

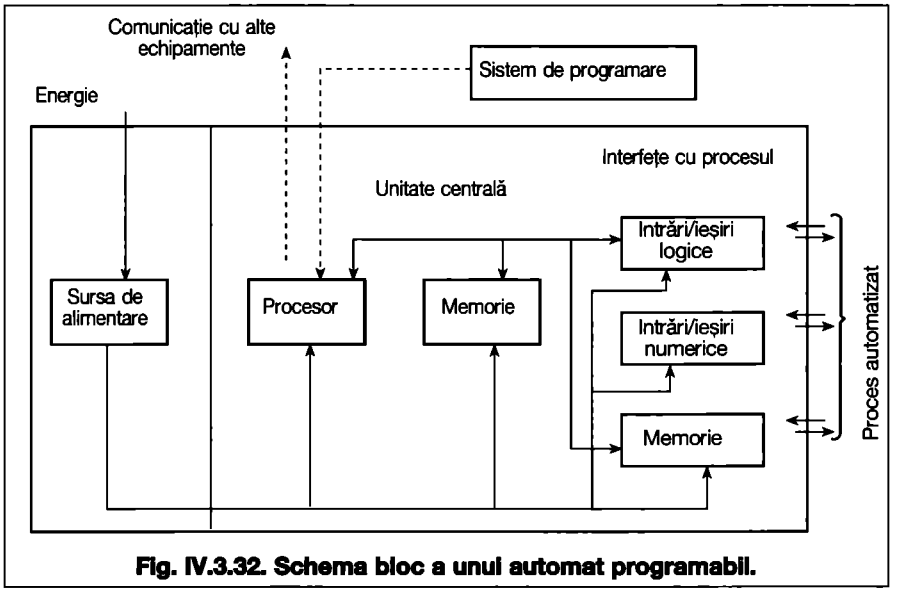


Fig. IV.3.32. Schema bloc a unui automat programabil.

automatul programabil este adaptat pentru funcționarea în mediu industrial. Astfel, este insensibil la perturbații electromagnetice, poate funcționa într-un domeniu larg de temperatură și umiditate și este compatibil direct cu procesul prin utilizarea unor semnale la tensiuni industriale.

Eliminarea unui automat dintr-o aplicație și reutilizarea lui în altă aplicație este foarte simplă. Se concepe noul program de lucru, se înscrie în memorie și se conectează automatul la noul proces prin intermediul bornelor corespunzătoare ale interfețelor de intrări/ieșiri.

Programarea automatelor

După alegerea automatului programabil în configurația cerută de aplicație și conectarea fizică la proces, urmează partea cea mai laborioasă și anume - programarea.

Mijloacele de programare actuale sunt consola de programare și calculatorul PC. Consola de programare beneficiază de avantajul că este portabilă și poate programa automatul local, conectat la instalația automatizată. Calculatorul PC asigură programarea automatului în laborator sau birou, folosind un program de dezvoltare a aplicațiilor oferit de firma producătoare a automatului. Utilizarea calculatorului PC ca mijloc de programare asigură proiectantului de aplicație toate facilitățile de care dispune calculatorul la momentul actual.

Programul aplicației se depune în memoria automatului, care poate fi o memorie fixă de tip EPROM, EEPROM sau mai simplu chiar memoria RAM protejată la pierderea informației prin alimentare permanentă. Alimentarea memoriei RAM în perioadele când automatul este deconectat de la rețea este asigurată de o pilă electrică garantată pentru cel puțin doi ani.

Tehnicile de programare actuale pentru automatele programabile sunt lista de instrucțiuni și limbaje grafice.

Programarea sub forma listei de instrucțiuni („statement list") propune scrierea programelor cu ajutorul setului de instrucțiuni de care dispune automatul utilizat pentru implementarea funcțiilor de automatizare impuse.

Limbajele de programare grafice reprezintă o metodă modernă care oferă proiectantului facilități suplimentare. Dintre limbajele grafice se pot enumera următoarele trei, care sunt utilizate în prezent de cele mai importante firme producătoare de automate:

- „ladder diagram" sau „langage á contacts" care asigură programarea prin desenare pe ecranul sistemului de programare a schemei electrice desfășurate cu contacte și relee (fig. IV.3.33).

Metoda utilizează elementele specifice schemelor cu contacte și relee (–//– contact normal deschis, –//– contact normal închis, –( )– bobină de releu etc.) completate cu o serie de alte elemente sub forma unor blocuri care îndeplinesc cele mai diverse funcții necesare în automatizări (comparație, transfer al informației, conversie de cod, numărare, deplasări ale informației în registru, operații aritmetice, comunicația cu alte echipamente inteligente etc.)

Acest limbaj grafic poate fi utilizat pentru programarea automatelor produse de cele mai importante firme cum ar fi: SIEMENS, SCHNEIDER, ALLEN-BRADLEY, EATON etc.

- limbajul Grafcet care se bazează pe metoda Grafcet de reprezentare normalizată a caietului de sarcini pentru automatele logice. Deoarece metoda Grafcet a început prin a fi o normă de reprezentare franțuzească și din 1987 a devenit o normă internațională, limbajul grafic Grafcet este folosit în special, la automatele SCHNEIDER (fig. IV.3.34)

- "control system flowchart" este o metodă de programare grafică care folosește simbolurile porților logice și al bistabilelor integrate. Schemele de automatizare implementate cu circuite integrate digitale se desenează pe ecranul calculatorului, folosind simbolurile specifice limbajului de programare. Această tehnică de programare este folosită în special la automatele Simatic produse de SIEMENS (fig. IV.3.35)

Oricare ar fi limbajul de programare grafică utilizat, sistemul de programare execută o proiectare asistată de calculator, care are drept scop transformarea programului grafic într-un program sub forma listei de instrucțiuni, direct executabile de către automatul programabil.

Deși automatele programabile au apărut ulterior calculatoarelor de proces și au rezolvat la început probleme de complexitate redusă, acestea înregistrează în ultimii ani o evoluție spectaculoasă. Cunoscute și sub denumirea de PLC-uri (Programable Logic Controllers), automatele programabile se apropie tot mai mult de complexitatea calculatoarelor de proces.

3.3. Comanda automată utilizând logica fuzzy

3.3.1. Generalități

Comanda automată folosind logica fuzzy este domeniul în care există cele mai multe realizări efective și mai ales industriale.

Scopul acesteia este de a trata problemele de comandă a proceselor, cel mai frecvent plecând de la cunoștințele experților sau operatorilor calificați care lucrează asupra acestora.

Pot fi amintite de exemplu: comanda mașinilor-unelte, a grupurilor de ascensoare, a aparatelor electromenajere, a camerelor de luat vederi, a automobilelor sau elicopterelor fără pilot, a metroului Sendai (Japonia).

3.3.2. Caracteristicile comenzii fuzzy

Comanda fuzzy are același scop ca și comanda realizată în automatica clasică, adică gestionarea automată a unui proces în funcție de o mărime impusă, prin acțiune asupra variabilelor care descriu procesul. Ea diferă însă de comanda clasică prin următoarele caracteristici:

- cunoașterea ecuațiilor matematice a

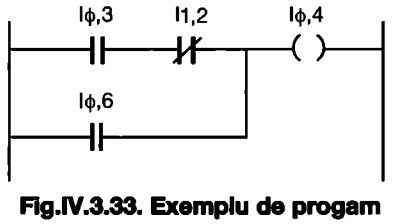


Fig.IV.3.33. Exemplu de progam scris în limbajul contactelor și releelor.

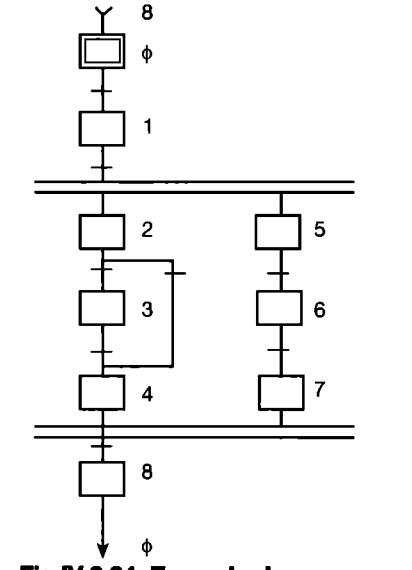


Fig.IV.3.34. Exemplu de progam scris în limbaj Grafcet.

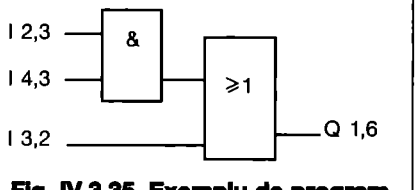


Fig. IV.3.35. Exemplu de program scris în limbajul porților logice și al bistabilelor integrate.

funcționării procesului nu este necesară. Este utilizat "know-how-ul" operatorului calificat care manipulează în mod normal procesul sau cunoștințele experților. Astfel se poate realiza comanda fuzzy a acestuia. Dacă se consideră, spre exemplu, conducerea unui automobil, nu este necesar a se cunoaște funcționarea motorului pentru a se realiza o comandă fuzzy, fiind suficient a se ști numai cum acționează un conducător experimentat;

- sunt utilizate variabile caracterizate subiectiv. Simțurile omenești (auzul, văzul etc.) se pot cu ușurință modela.

Se utilizează totodată criterii descrise lingvistic sau ale căror caracteristici sunt definite incomplet, cum ar fi frumusețea unei culori sau confortul unui pasager.

În consecință, realizarea unui controler/regulator fuzzy este în mod deosebit recomandat când procesul ce trebuie comandat nu este bine cunoscut sau este dificil a fi descris cu precizie, spre exemplu, datorită unei mari complexități.

Această realizare este, de asemenea, foarte utilă în cazul în care variabilele ce intervin în proces sunt caracterizate într-o manieră imprecisă sau când cunoștințele sunt exprimate în limbaj natural și nu numeric.

Comanda fuzzy este interesantă din următoarele rațiuni:

- sinteza părerilor mai multor experți dintr-un anumit domeniu este relativ ușor de realizat;
- este posibilă coordonarea mai multor obiective;
- comanda este flexibilă și ușor adaptabilă condițiilor de funcționare a procesului sau a unei utilizări particulare;
- este recunoscută ca robustă, (rezistă bine perturbațiilor care pot afecta procesul).

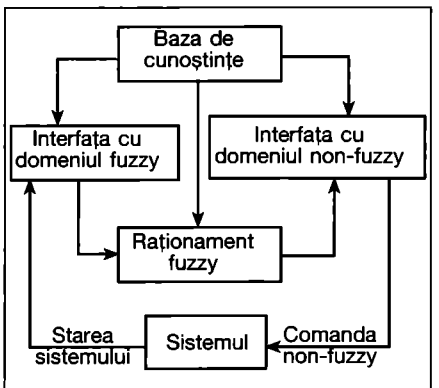


Fig. IV.3.36. Configurația generală a unui controler fuzzy.

3.3.3. Configurația generală a unui controler fuzzy

Un controler fuzzy poate fi văzut ca un sistem expert simplu ce funcționează de la o reprezentare a cunoștințelor bazată pe submulțimi fuzzy (fig. IV.3.36).

Baza de cunoștințe conține definițiile teoremelor utilizate în comandă și regulile care caracterizează scopul comenzii și care descriu conduita expertului.

Un modul de interfață cu domeniul fuzzy stabilește o reprezentare adecvată a cunoștințelor și definește caracteristicile fuzzy ale variabilelor care corespund calificărilor lingvistice.

Modulul de interfață cu domeniul non-fuzzy determină o acțiune precisă pornind de la descrierile fuzzy ale variabilelor de ieșire. Fiecare stare a sistemului de comandă trece pe filtrul de interfață cu domeniul fuzzy înainte de a fi prelucrat de modulul de raționament, pornind de la cunoștințele bazei. Rezultatul fuzzy astfel obținut trece prin cel de al doilea filtru, acel al interfeței cu domeniul non-fuzzy, care furnizează o comandă precisă, non-fuzzy direct aplicabilă sistemului care trebuie comandat.

IV. Automatizări

Capitolul 4

Reglarea automată a parametrilor

Se prezintă modul de realizare a reglării următorilor parametri:
- presiune,
- debit,
- temperatură,
- umiditate,
- pH,
- flux luminos,
- turație,
- raport gaz-aer.

4.1. Reglarea presiunii

În mod obișnuit se cere menținerea unei presiuni constante într-un rezervor sau într-o conductă, în condițiile unui debit variabil al consumatorului. Pentru menținerea presiunii constante sau între anumite limite, se modifică debitul admis.

Ecuația care descrie funcționarea proceselor pentru reglarea presiunii este:

$$Cdp = (\dot{V}_i - \dot{V}_e)\,dt \qquad (4.1.1)$$

în care:

C - este capacitatea rezervorului;

dp - variația de presiune;

$\dot{V}_i$, $\dot{V}_e$ - debitul de intrare respectiv ieșire.

La procesele cu C mare (cazul rezervoarelor) este recomandată o reglare de tip *PI*. Când C este mic (cazul conductelor) viteza de variație a presiunii dp/dt este mare.

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\dot{V}_i - \dot{V}_e}{C} \qquad (4.1.2)$$

Cu cât variația de presiune este mai mare, cu atât reglarea este mai dificil de realizat. În general, sunt utilizate regulatoare liniare cu acțiune PI, P sau PID. În această situație reglarea presiunii se efectuează în jurul unei valori. Aceasta evită uzura provocată de închiderea și deschiderea frecventă a elementelor de execuție care ar fi apărut în cazul utilizării unor regulatoare neliniare. În fig. IV.4.1 este prezentată schema de principiu pentru reglarea presiunii într-un rezervor.

Se cere reglarea presiunii p_e din conducta de ieșire a rezervorului. Pentru măsurarea presiunii este utilizată priza de presiune P_p, care transmite semnal hidraulic la traductorul T_r. Traductorul T_r transformă presiunea p_e în semnal electric unificat $i = 4...20$ mAcc (pentru presiune p_e=0 corespunde i = 4 mAcc, iar pentru presiune maximă $p_e = p_{max}$ corespunde i = 20 mAcc). Legătura dintre i și p_e este liniară. Curentul i obținut la ieșirea din T_r reprezintă semnalul de reacție y_r în bucla de reglare.

Comparatorul C compară presiunea impusă (de referință) W cu presiunea existentă în instalație dată de semnalul de reacție y_r furnizând, la ieșire, semnalul de abatere ε. Dacă $\varepsilon = 0$, RA nu emite nici o comandă. Dacă $\varepsilon \neq 0$, RA emite un semnal de comandă u (în interiorul RA) care este aplicat elementului de comandă, ce furnizează la ieșire semnalul m către elementul de execuție EE (format din servomotorul electric SE și robinetul de reglare RR). În funcție de abaterea ε, EE stă pe poziția existentă și deschide mai mult (presiunea în rezervor crește) sau se închide (presiunea în rezervor scade).

În fig. IV.4.2 este prezentată schema de principiu pentru reglarea presiunii într-o conductă.

Priza de presiune Pp transmite semnalul hidraulic p la traductorul T_r (cu funcția de adaptor) care transformă presiunea p într-un curent i (*4...20* mAcc), ce corespunde în bucla de reglare semnalului de reacție y_r. Acesta este comparat cu semnalul de referință W impus prin intermediul elementului de prescrierea referinței ER. Abaterea, respectiv semnalul ε este aplicat pe intrarea regulatorului automat RA care prelucrează abaterea ε după algoritmul PI și rezultă la ieșire semnalul u ce este aplicat amplificatorului sensibil de fază ASF.

În funcție de abaterea ε, ASF dă comandă pe releul D_1 sau D_2, astfel că servomotorul electric SE (motor electric monofazat) închide sau deschide clapeta de reglare CR în sensul reducerii abaterii ε. Limitarea cursei CR este realizată de limitatoarele b_1 și b_2. Potențiometrul P_1 are rol de reacție și potențiometrul P_2 de indicator de poziție afișată prin intermediul aparatului indicator *I*.

În fig. IV.4.3 este dată schema tehnologică cu aparatură de automatizare pentru reglarea continuă a presiunii, iar în fig. IV.4.4 schema electrică desfășurată corespunzătoare.

Presiunea impusă este fixată pe regulatorul u_2.

În fig. IV.4.5 este prezentată reglarea presiunii într-o conductă utilizând echipament pneumatic.

Componența și funcționarea buclei de reglare este identică cu cea de la reglarea cu echipament electric (fig.IV.4.2) până la presiunea semnalului de comandă u din RA. Convertorul CV transformă semnalul electric $i = 4...20$ mAcc în semnal de comandă pneumatic cu p = 0,2...1 bar (presiunea de alimentare p_a = 1,4 bar). Semnalul de comandă p_c este aplicat servomotorului pneumatic SP care transformă acest semnal într-o deplasare ce este aplicată CR.

Reglarea neliniară se poate realiza utilizând presostate, manometre cu contacte electrice sau miliampermetre regulatoare.

În fig. IV.4.6. este dată schema tehnologică cu aparatură de automatizare pentru reglarea presiunii într-o conductă utilizând reglarea bipoziționalã (cu presostat), iar în fig. IV.4.7 schema electrică desfășurată.

Alegerea regimului de funcționare

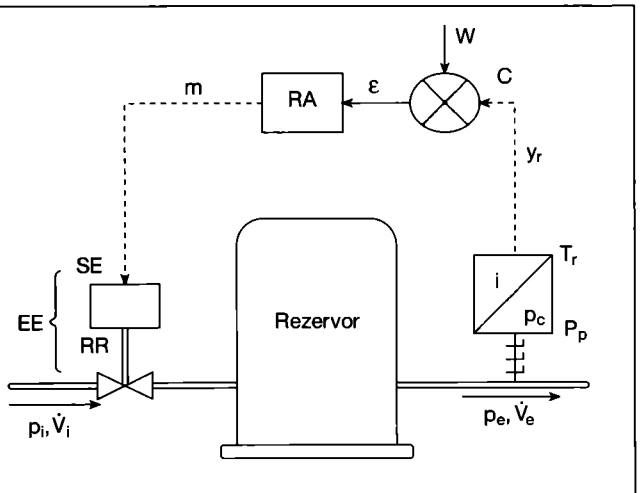


Fig. IV.4.1. Reglarea presiunii într-un rezervor:
⊣⊣⊣→ - semnal hidraulic;
-----→ - semnal electric.

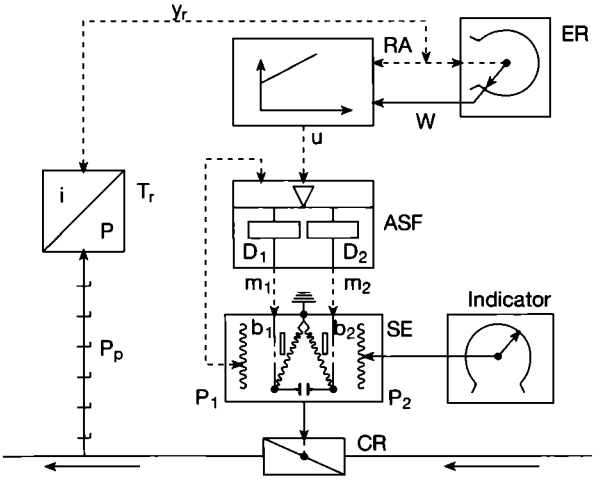


Fig. IV.4.2. Reglarea presiunii într-o conductă utilizând echipamentul electric.

manual (M) sau automat (A) se efectuează cu comutatorul cu came S_1 fixându-l pe poziția 1 sau 2.

În cazul regimului manual de funcționare, pornirea pompei P, respectiv a motorului electric de acționare a pompei m_1, se realizează prin acționarea butonului de pornire S_3, iar a opririi, prin acționarea butonului de oprire S_2. Acționarea S_3, respectiv S_2, se efectuează în funcție de vizualizarea indicațiilor unui manometru.

În cazul alegerii regimului automat de funcționare (poziția 2 a comutatorului S_1) la închiderea presostatului u_1 anclanșează bobina contactorului K_1 și, ca urmare, conform diagramei de contacte se închid circuitele 02, 05, 09 și se deschide circuitul 11.

Prin închiderea circuitului 02 pornește m1. Închiderea circ. 05 nu are efect asupra regimului automat. Închiderea circuitului 09 realizează semnalizarea pornirii. Deschiderea circuitului 11 arată că m_1 nu este oprit. Când presiunea în conductă crește peste limita prestabilită pe presostatul u_1, acesta se deschide (se deschide contactul u1 din circ 06); ca urmare, bobina contactorului K_1 rămâne nealimentată și motorul electric m_1 se oprește (contactele 02 revenind în poziția deschis).

Pentru reglarea presiunii cu manometru cu contacte, schema tehnologică cu aparatura de automatizare este identică cu cea din fig. IV.4.6. Schema electrică desfășurată a circuitelor de comandă este dată în fig. IV.4.8 (circuitele principale fiind aceleași cu cele din fig. IV.4.7).

Funcționarea manometrului cu contacte u_1 este indicată de diagrama de contacte. Reglarea presiunii constă în menținerea ei între min și max. Când presiunea este sub valoarea minimă se închide contactul c-m (conform diagramei de contacte - respectiv contactul c-m al u_1) care închide circuitul 05 și,

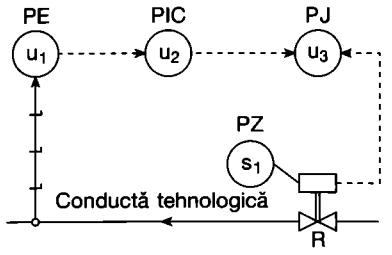


Fig. IV.4.3. Schema tehnologică cu aparatură de automatizare pentru reglarea continuă a presiunii:
PE - element primar de presiune;
u_1 - traductor electronic de presiune;
PIC - indicare reglare presiune;
u_2 - regulator electronic continuu;
PJ - poziționare element final de comandă presiune; u_3 - poziționer electronic (X 902);
PZ - element final de comandă presiune;
s_1 - robinet de reglare cu servomotor electric (RRAE, MAR 1).

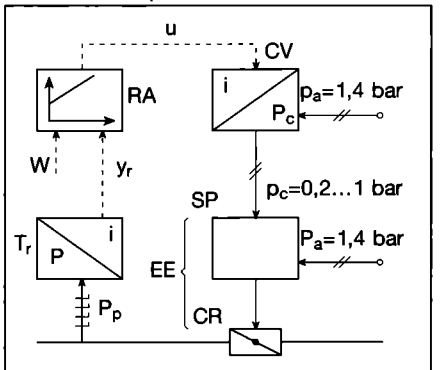


Fig. IV.4.5. Reglarea presiunii într-o conductă utilizând echipament pneumatic:
- semnal hidraulic;
- semnal electric;
- semnal pneumatic.

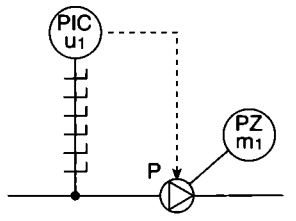
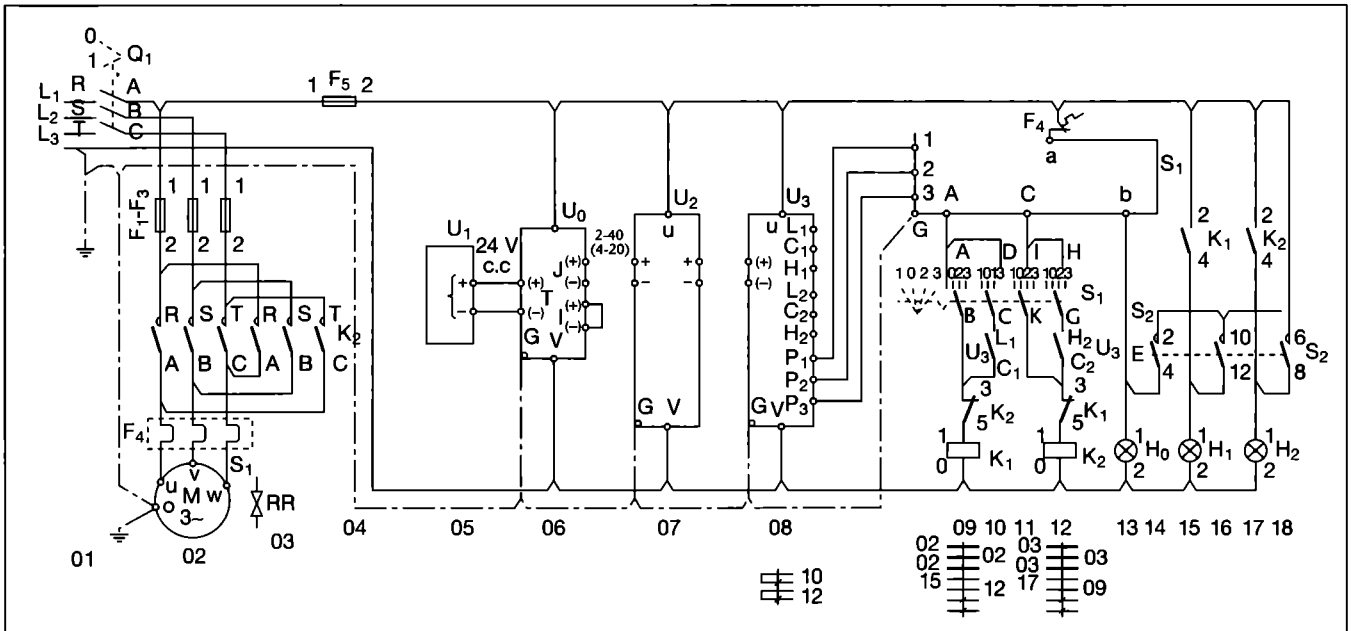


Fig. IV.4.6. Reglarea presiunii cu presostat:
PIC - indicare, reglare, presiune; u_1 - presostat; PZ - elementul final de comandă presiune; m_1 - motor electric asincron; P - pompă.



Alimentare 3× 380/220 V	Acționare robinet de reglare		Protecție schemă comandă	Măsurare presiune		Reglare presiune	Reacție electronică	Comandă servomotor S_1			Semnalizare		
	Închidere	Deschidere		Detectare	Adaptare			Închidere		Deschidere	Supra sarcină	Închis	Deschis
								Manual	Automat	Manual			

Fig. IV.4.4. Schema electrică desfășurată pentru reglarea presiunii cu un regulator continuu:
Q_1 - întreruptor; S_1 - comutator cu came; S_2 - buton; F_1...F_3, F_5 - siguranță fuzibilă; F_4 - releu termic; H_0, H_1, H_2 - lămpi de semnalizare; s_1 - servomotor electric cu robinet de reglare RR; u_0 - sursă de alimentare; u_1 - traductor electronic de presiune; u_2 - regulator electronic continuu; u_3 - poziționer electronic.

ca urmare, anclanşează releul intermediar K_1. Releul intermediar K_1 închide cnd K_1 din circuitul 06 (de automenţinere) şi cnd K_1 din circuitul 09 (se închide circuitul 09).

Ca urmare, se pune sub tensiune bobina contactorului K_2 care porneşte m_1. Presiunea se ridică până când se deschide contactul c-M şi circuitul 05 se deschide, releul K_1 este scos de sub tensiune şi m1 se opreşte.

4.2. Reglarea debitului

Procesele de reglare a debitului sunt caracterizate de constante de timp mici (0,5...3 s) ceea ce înseamnă că răspunsul sistemelor de reglare automată depinde, în mare măsură, de constantele de timp ale traductorului, regulatorului şi elementului de execuţie (în mod obişnuit constanta de timp a unui sistem de reglare a debitului este mai mică de 60 s).

Deoarece constanta de timp este mică, la sistemele de reglare a debitului se utilizează numai regulatoarele liniare. Ţinând seama de faptul că acţiunea D amplifică zgomotele, sunt utilizate regulatoare cu acţiune PI. Acestea au K_R mic (respectiv BP mare) şi T_i (constanta de timp) mică.

Elementele primare de măsurare ale debitului $\dot{V}$ sunt, în principal, diafragmele şi detectoarele electromagnetice de debit. În cazul utilizării diafragmelor de măsură, se are în vedere relaţia:

$$\dot{V} = K\sqrt{\Delta p} \qquad (4.2.1)$$

în care:

K - este un coeficient care depinde de presiune şi temperatură;

Δp - căderea de presiune pe diafragmă.

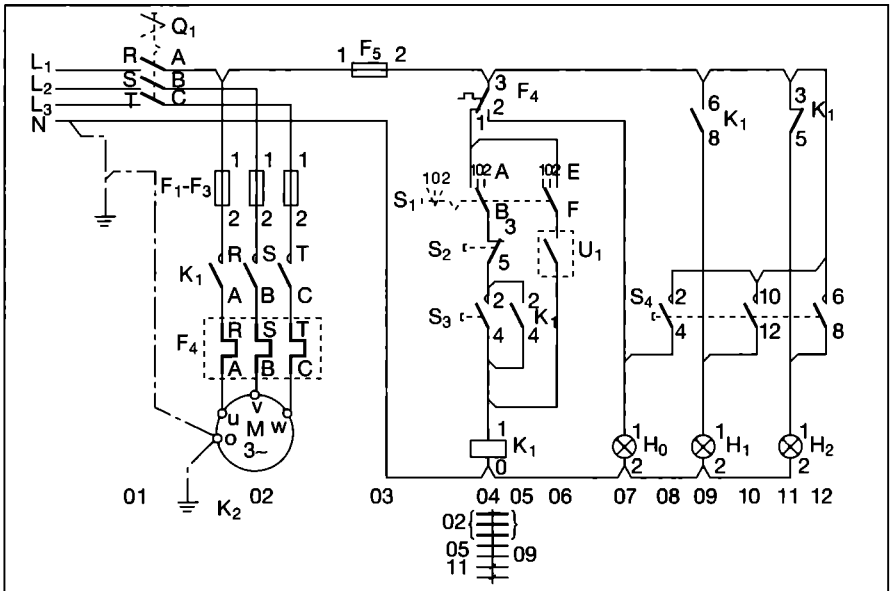
Reglarea debitului utilizând ca element de măsurare diafragma EM este prezentată sub formă bloc în fig. IV.4.9.

Diferenţa de presiune Δp este măsurată cu diafragma EM şi transmisă la traductorul de presiune diferenţială T_r care transformă Δp în semnal electric unificat 4...20 mAcc. Pentru a obţine un semnal proporţional cu debitul $\dot{V}$ conform relaţiei 4.2.1 este necesar a se extrage radicalul din Δp. Pentru aceasta, semnalul de la ieşire T_r este aplicat unui element de calcul FX (care extrage rădăcina pătrată). Semnalul obţinut y_r este semnalul de reacţie care este aplicat regulatorului automat RA de tip PI. În interiorul RA se efectuează comparaţia între mărimea impusă W şi mărimea de reacţie y_r rezultând abaterea ε în funcţie de care se dă comanda u.

În funcţie de semnalul de comandă u (4...20 mAcc) convertorul electropneumatic CV transmite elementului de execuţie EE (format din servomotorul pneumatic SP şi robinetul de reglare RR) semnalul m pneumatic (0,2...1 bar). Când semnalul $m = 0{,}2$ bar, RR este complet deschis, iar când $m = 1$ bar, RR este complet închis. Dacă debitul $\dot{V}$, ce trece prin EM(y_r), este mai mic decât $\dot{V}$ impus (W) EF acţionează în sensul deschiderii robinetului de reglare RR şi invers.

Reglarea debitului utilizând ca element de măsurare EM detectorul electromagnetic de debit DEM este prezentată sub formă bloc în fig. IV.4.10.

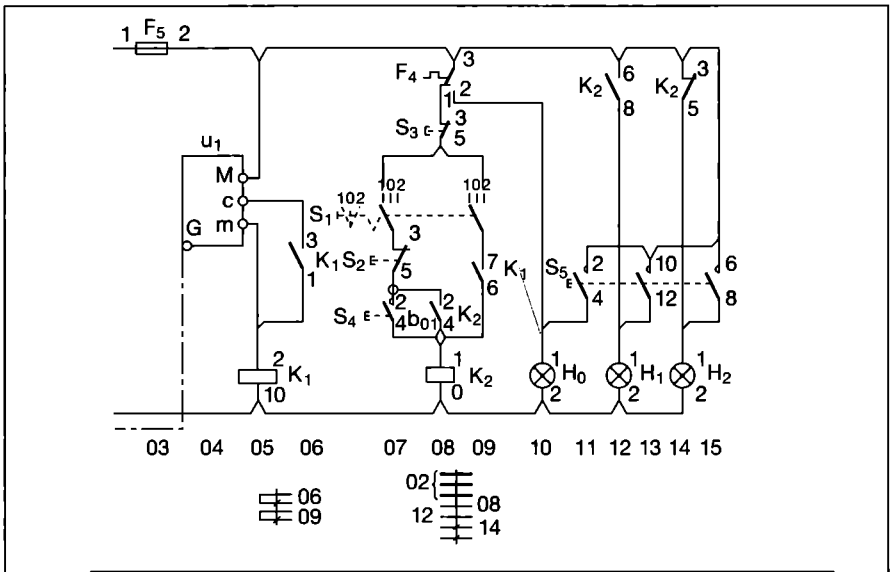
Debitul ce trece prin DEM este transformat într-o tensiune de ordinul milivolţilor. Prin intermediul adaptorului Ad



Alimentare 3×380/220 V	Acţionare pompa P	Protecţie schemă comandă	Comandă motor electric		Semnalizare		
			Manual	Automat	Supra sarcină	Pornit	Oprit

Fig. IV.4.7. Schema electrică desfăşurată corespunzătoare schemei tehnologice cu aparatură de automatizare din fig. IV. 4.6:

$F_1...F_3$, F_5 - siguranţe fuzibile; F_4 - releu termic; $H_0...H_2$ - lămpi semnalizare; K_1 - contactor; Q_1 - întreruptor; S_1 - comutator cu came; $S_2...S_4$ - butoane comandă; m_1 - motor electric (pompa P); U_1 - presostat.



Protecţie schemă comandă	Măsurare reglare presiune	Comandă motor electric		Semnalizare		
		Manual	Automat	Supra sarcină	Pornit	Oprit

Fig. IV.4.8. Schema electrică desfăşurată pentru reglarea presiunii cu manometru cu contacte:

K_1 - releu intermediar; K_2 - contactor pentru motorul electric; S_1 - comutator cu came; $S_2...S_5$ - butoane comandă; u_1 - manometru cu contacte electrice Mc-1.

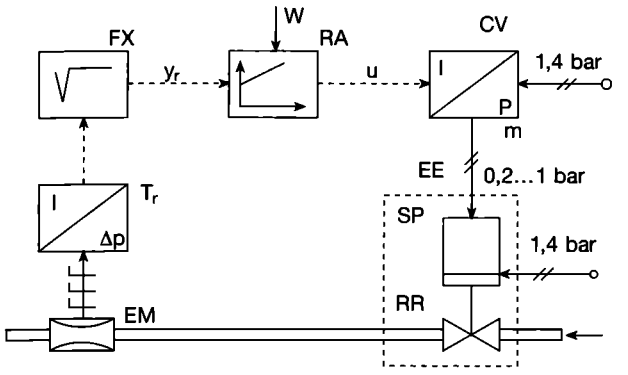


Fig. IV.4.9. Reglarea debitului într-o conductă utilizând ca element de măsurare diafragma.

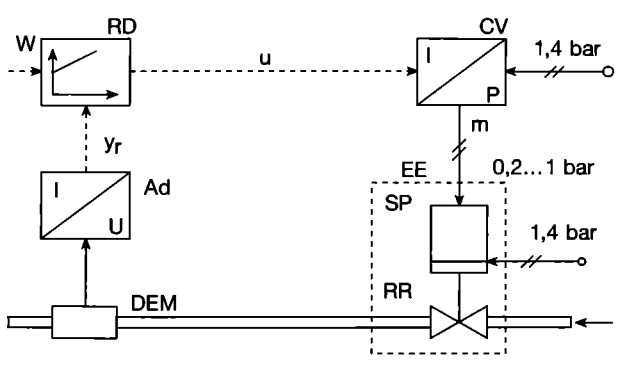


Fig. IV.4.10. Reglarea debitului într-o conductă utilizând ca element de măsurare detectorul electromagnetic de debit.

(tensiune-curent), acest semnal este transformat într-un semnal electric unificat 4...20 mAcc, care constituie mărimea de reacție y_r (măsură) ce este aplicată regulatorului de tip PI. Regulatorul compară mărimea de reacție y_r (măsură) cu mărimea impusă W (referință) și trimite mărimea de comandă *u* convertorului electropneumatic CV, care acționează corespunzător elementul de execuție EE.

Dacă este necesară o reglare riguroasă a debitului este utilizat un sistem de reglare automat în cascadă (fig. IV.4.11).

Diafragma de măsură EM, transmite diferența de presiune *Δp* la traductorul de presiune diferențial T_r unde transformă semnalul hidraulic în semnal electric unificat 4...20 mAcc. Pentru ca semnalul să fie proporțional cu debitul măsurat se extrage radicalul prin intermediul elementului de calcul FX. Semnalul de reacție obținut y_{r1} se aplică regulatorului RA_1. Regulatorul RA1, compară W = W_1 cu y_{r1} și transmite la ieșire semnalul de comandă u_1. Semnalul u_1 devine mărime impusă $u_1 \equiv W_2$ pentru RA2. Regulatorul RA2 compară u_1 cu y_{r2} și la ieșire rezultă $u_2 \equiv m$ care acționează asupra elementului de execuție. Avantajul SRA în cascadă constă în reducerea constantei de timp.

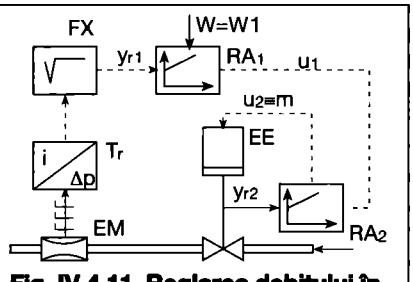


Fig. IV.4.11. Reglarea debitului în cascadă.

4.3. Reglarea raportului gaz - aer

Reglarea raportului gaz - aer este necesară la instalațiile de ardere în vederea obținerii unei combustii optime.

Schema bloc rentru reglarea raportului gaz - aer, utilizând aparatura din sistemul unificat electronic 4...20 mAcc, este dată în fig. IV.4.12.

Sistemul de reglare automată menține raportul constant, acționând asupra debitului de aer. Debitul de gaz necesar se reglează prin clapeta de reglare CR_1. Măsurarea debitului de gaz se efectuează prin intermediul diafragmei de măsură EM_1. Presiunea diferențială obținută este transmisă adaptorului Ad_1 care o transformă în semnal unificat electronic 4...20 mAcc. Acest semnal este aplicat la intrarea elementului de calcul FX_1 care extrage radicalul și transmite semnalul unificat electronic în domeniul 4...20 mAcc (care reprezintă debitul de gaz măsurat) elementului de raport ERap. Semnalul primit în ERap este multiplicat cu o constantă K ce depinde de presiune și temperatură și este aplicat ca mărime impusă W la intrarea regulatorului automat RA de tip PI.

Debitul de aer este măsurat prin intermediul diafragmei de măsură EM2. Presiunea diferențială rezultată este aplicată adaptorului Ad_2 care o transformă în semnalul unificat electronic 4...20 mAcc.

Acestui semnal i se aplică o corecție de temperatura KT din care se extrage radicalul cu elementul de calcul FX_2 și prin intermediul ERap. Se aplică RA sub forma semnalului de reacție y_{r1}. Corecția de temperatură KT este necesară pentru ca la creșterea sau scăderea de temperatură debitul să rămână constant.

Aceasta rezultă în condițiile în care la intrarea RA este aplicată mărimea impusă (de referință) W și cea de reacție y_{r1}. În funcție de abaterea $\varepsilon = W - y_{r1}$, RA transmite semnalul de comandă *u* amplificatorului sensibil la faza ASF, care transmite motorului electric ME semnal de execuție m_1 sau m_2.

Dacă semnalul apare pe canalul m_1, motorul electric ME se rotește în sensul (1); dacă semnalul apare pe canalul m_2, ME se rotește în sensul (2). Pentru sensul (1) clapeta de reglare CR_2 se deschide iar pentru sensul (2) se închide astfel încât să se mențină raportul gaz - aer constant.

Când debitul de gaz crește din anumite motive, pentru menținerea constantă a raportului gaz - aer trebuie să crească și debitul de aer; ME se va roti în sensul (1) și CR_2 se va deschide. Când debitul de gaz scade, CR_2 se va închide.

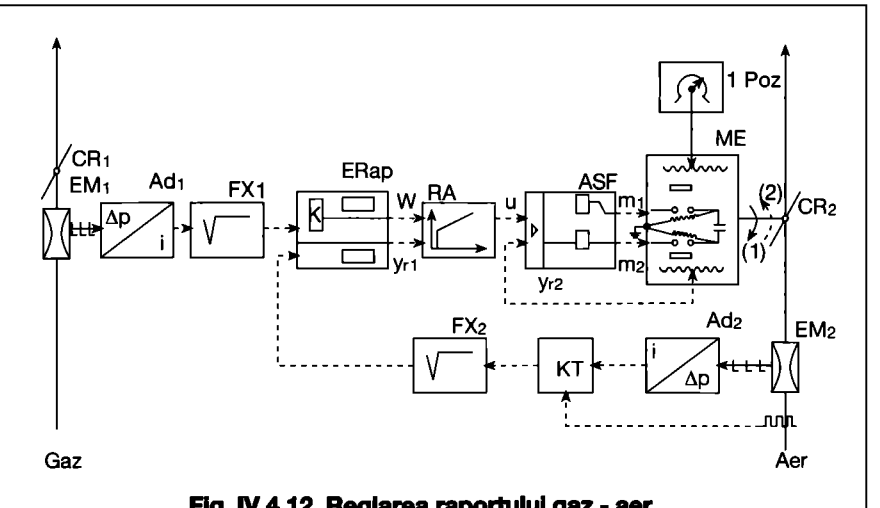


Fig. IV.4.12. Reglarea raportului gaz - aer.

4.4. Reglarea temperaturii

Reglarea temperaturii este practic o reglare a transferului de căldură. Când transferul de căldură este mare şi reglarea liniară, se ajunge la oscilaţii de amplitudini mari. În această situaţie se recomandă o reglare de tip P. Dacă perturbaţiile de sarcină sunt mari şi frecvenţa sau constantele de timp mari (cazul schimbătoarelor de căldură şi al cuptoarelor continue) se recomandă o reglare de timp PI. În general, la procesele cu constante de timp mari în care se reglează temperatura se utilizează reglarea PID. La procesele cu capacitate mare, constante de timp şi timp mort mici sunt utilizate regulatoare neliniare (bi sau tripoziţionale).

Regulatoarele liniare sunt directe şi indirecte.

Regulatoarele directe sunt utilizate în mod obişnuit la reglarea temperaturii apei calde de consum prin punctele termice sau la reglarea temperaturii la corpurile de încălzire.

Este de prevăzut o extindere a utilizării regulatoarelor directe, deoarece ele sunt simple, robuste, uşor de întreţinut, se montează local (nu necesită dulapuri de automatizare) şi lucrează fără a consuma energie auxiliară (energia consumată este preluată chiar din procesul pe care îl reglează). Un dezavantaj este constituit de faptul, că în general în poziţia închis, robinetul de reglare nu închide complet, existând un debit de scăpări ale apei care poate ajunge până la 5 %.

Reglarea temperaturii, într-un cuptor utilizând regulatoare liniare cu semnal electronic unificat 4...20 mAcc este dată în fig. IV.4.13.

Mărimea impusă (de referinţă) W este aplicată regulatorului RA de tip PID. Ca element de măsură EM a temperaturii din cuptor este utilizat un termocuplu. Acesta transformă temperatura într-o tensiune de ordinul mV ce este transmisă adaptorului tensiune - curent Ad. Intensitatea curentului i de la ieşirea Ad reprezintă mărimea de reacţie a sistemului y_r. Comparatorul din interiorul RA compară W cu y_r. În funcţie de abaterea $\varepsilon = W - y_{r1}$, rezultă mărimea de comandă u ce este aplicată convertorului electropneumatic CV. Convertorul acţionează asupra elementului de execuţie EE format din servomotorul pneumatic SP şi clapeta de reglare CR, mărind sau micşorând debitul de gaz, astfel încât să se menţină temperatura impusă W.

Reglarea temperaturii cu regulatoare neliniare este realizată cu presostate, manometre cu contacte electrice, regulatoare neliniare cu semnal electronic unificat, milivoltmetre regulatoare, logometre regulatoare, miliampermetre regulatoar etc.

4.5. Reglarea umidităţii

Reglarea umidităţii φ constituie un proces care necesită reglarea temperaturii şi a cantităţii de apă conţinută în aer (diagrama i-x). În cazul general acesta necesită preîncălzire, răcire cu umidificare şi reîncălzire. Pentru micşorarea umidităţii este utilizată încălzirea, iar pentru creşterea umidităţii este utilizată umidificarea cu apă sau abur.

Procesele de reglare a umidităţii sunt caracterizate de capacităţi mari şi constante de timp medii. La reglări precise sunt necesare regulatoare de tip PID. Dacă variaţiile de sarcină nu sunt prea mari, regulatoarele pot fi de tip P sau neliniare (bi sau tripoziţionale). Menţinerea umidităţii între anumite limite, de exemplu într-un depozit de materiale, are la bază utilizarea unor traductoare de umiditate ce funcţionează pe principiul psihrometrului T_r. Aceste traductoare sunt conectate la aparate înregistratoare ce indică şi înregistrează atât temperatura cât şi umiditatea. Aceste înregistratoare sunt prevăzute cu funcţie de reglare (ieşirea pe contacte).

Când umiditatea scade sub valoarea minimă prescrisă se închide contactul mobil deschis c-m, iar când umiditatea creşte peste valoarea maximă prescrisă se închide cnd c-M (fig.IV.4.14).

Când umiditatea φ este mai mică decât cea prescrisă $\varphi < \varphi_p$ (conform diagramei de contacte) se închide cnd c-m (circ. 11) şi anclanşează bobina releului intermediar D_2. Ca urmare se deschide cnd d_2 din circuitul 8, se întrerupe alimentarea bobinei contactorului K_1 şi ventilatorul care evacua aerul din depozit se opreşte. Dacă umiditatea φ creşte şi ajunge la un moment dat egală cu cea precisă $\varphi = \varphi_p$ sau $\varphi > \varphi_p$, atunci se închide cnd c-M (circ. 7). Ca urmare anclanşează bobina releului intermediar D_1 care închide cnd d_1 (circ. 9) şi se pune sub tensiune bobina contactorului K_1 care închide contactele principale de alimentare cu energie electrică a ventilatorului care începe să funcţioneze. Concomitent cu închiderea contactelor principale se închide şi cnd K_1 din circuitul 10 de automenţinere. Ventilatorul funcţionează până când $\varphi < \varphi_p$ când acestea se opreşte.

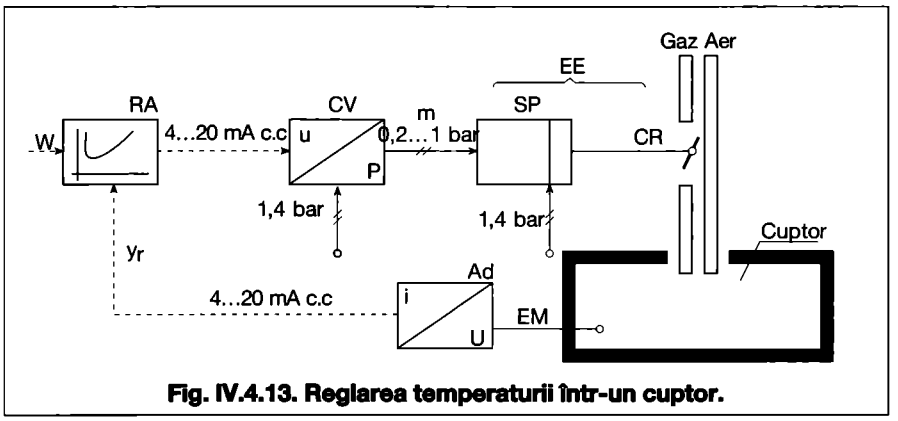


Fig. IV.4.13. Reglarea temperaturii într-un cuptor.

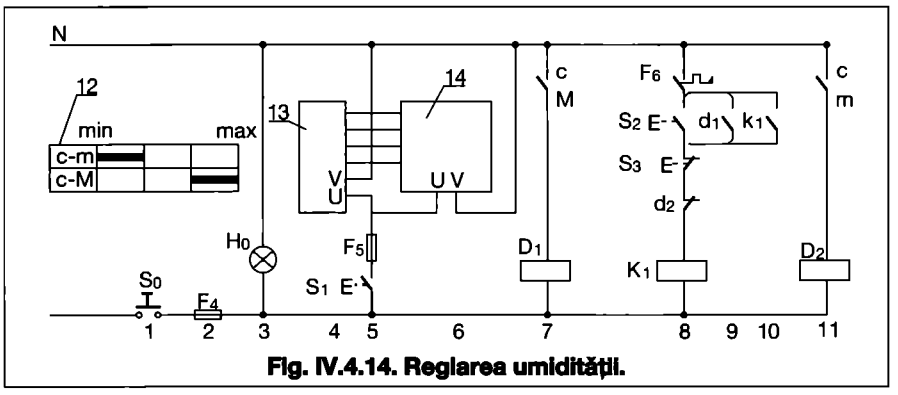


Fig. IV.4.14. Reglarea umidităţii.

4.6. Reglarea pH-ului

Datorită faptului că adaosul de reactivi într-o soluţie nu influenţează liniar variaţia pH-ului acesteia (fig. IV.4.15), reglarea ridică probleme deosebite.

Debitul unui reactiv adăugat într-o soluţie determină o variaţie liniară a concentraţiei ionilor de hidrogen şi o variaţie exponenţială a pH-ului. Se observă că variaţiile mari de pH sunt în zona neutră, în jurul valorii pH = 7. În această zonă, la cele mai mici adaosuri de reactiv Δx, pH-ul creşte brusc în timp ce în zona A-B şi C-D la o cantitate mare de reactiv, pH-ul creşte puţin.

Pentru a arăta aceasta este utilizat indicele de tamponare i_t definit de raportul:

$$i_t = \frac{\Delta pH}{\Delta x} \qquad (4.6.1)$$

Indicele de tamponare are o valoare mare în zona neutră și o valoare redusă în zonele acidă și bazică. El se determină experimental. Dacă i_t este mai mare (concentrația ridicată) se utilizează reglări de tip PI sau PID, în cascadă sau cu previziune.

Dacă i_t este mic (concentrație redusă) se utilizează reglare de tip P sau bipoziționalã.

În fig. IV.4.16 este arătată o reglare tip PID a pH-ului.

Traductorul de pH T_r transformă pH-ul într-o tensiune U ce este aplicată adaptorului Ad care o transformă în intensitatea unui curent electric i compatibil cu regulatorul automat RA (y_r). Acest semnal provenit de la măsurarea pH-ului (y_r) este comparat în interiorul RA cu pH-ul impus (W) și rezultă la ieșirea semnalului de comandă u aplicat elementului de execuție EE.

Dacă pH-ul la ieșirea soluției tratate din instalație (y_r) este mai mic decât pH-ul prescris (W) atunci robinetul de reglare RR acționat de servomotor electric SE se deschide și este admis în reactor mai mult reactiv. Astfel concentrația de reactiv în soluție crește și y_r va crește.

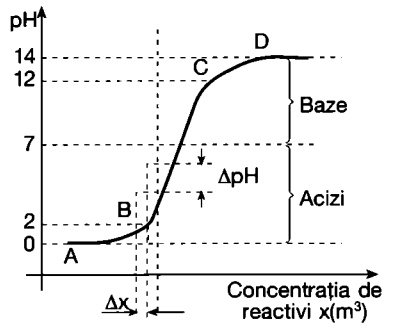


Fig. IV.4.15. Curba de variație a pH-ului la tratarea cu reactiv a unei soluții.

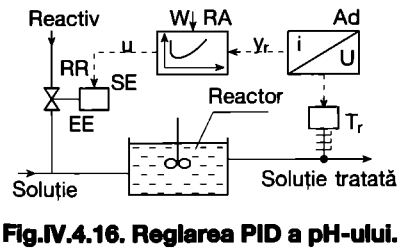


Fig.IV.4.16. Reglarea PID a pH-ului.

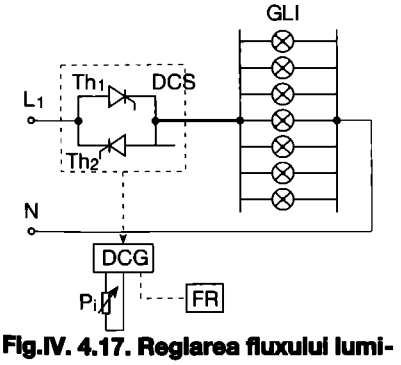


Fig.IV. 4.17. Reglarea fluxului luminos cu tiristoare.

4.7. Reglarea fluxului luminos

Se realizează la lămpile cu incandescență. Plaja în care se poate efectua reglarea fluxului luminos la lămpile fluorescente (cu descărcare în gaze este limitată la 20-30 V) ceea ce face ca o reglare a fluxului luminos la astfel de lămpi să nu fie eficientă.

În fig. IV.4.17 este prezentat principiul de realizare a reglării fluxului luminos la un grup de lămpi cu incandescență GLI. Alimentarea circuitului este realizată prin intermediul Dispozitivului de Comutație Statică DCS (comutator static realizat prin montarea a două tiristoare Th_1 și Th_2). Comanda deschiderii tiristoarelor (principiul tăierii sinusoidei) este dată de Dispozitivul de Comandă pe Grilă DCG. Comanda este în funcție de iluminarea exterioară realizată de fotorezistență FR și fixarea punctului de funcționare prin intermediul potențiometrului P_i.

În fig. IV.4.18 este prezentată reglarea fluxului luminos, la grupul de lămpi cu incandescență GLI, cu un triac, comandat de circuitul integrat L120. Reglarea se poate realiza manual M sau automat A. Alegerea regimului de funcționare M sau A se efectuează prin intermediul comutatorului s_1. Dacă se alege regimul manual, respectiv s_1 pe poziția 2-3, atunci mărimea impusă se stabilește prin intermediul potențiometrului PI, iar mărimea de reacție este dată de potențiometrul semireglabil P_F. Pentru funcționarea în regim automat se trece comutatorul s_1 pe poziția 2-1, mărimea impusă se stabilește prin PI iar mărimea de reacție este dată de fototraductorul (fototranzistor) FT. Cele două mărimi date de PI și P_F sau PI și FT sunt prelucrate în interiorul circuitului integrat, obținându-se pe terminalul 7 un tren de impulsuri sincrone cu rețeaua și un unghi variabil, proporțional cu tensiunea de abatere.

4.8. Reglarea turației

Din mecanica fluidelor sunt cunoscute relațiile:

$$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (4.8.1)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \qquad (4.8.2)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \qquad (4.8.3)$$

în care:

$\dot{V}$ - este debitul;

H - înălțimea de pompare;

n - turația pompei

Indicii 1 și 2 se referă la parametrii corespunzători turațiilor n_1 și n_2.

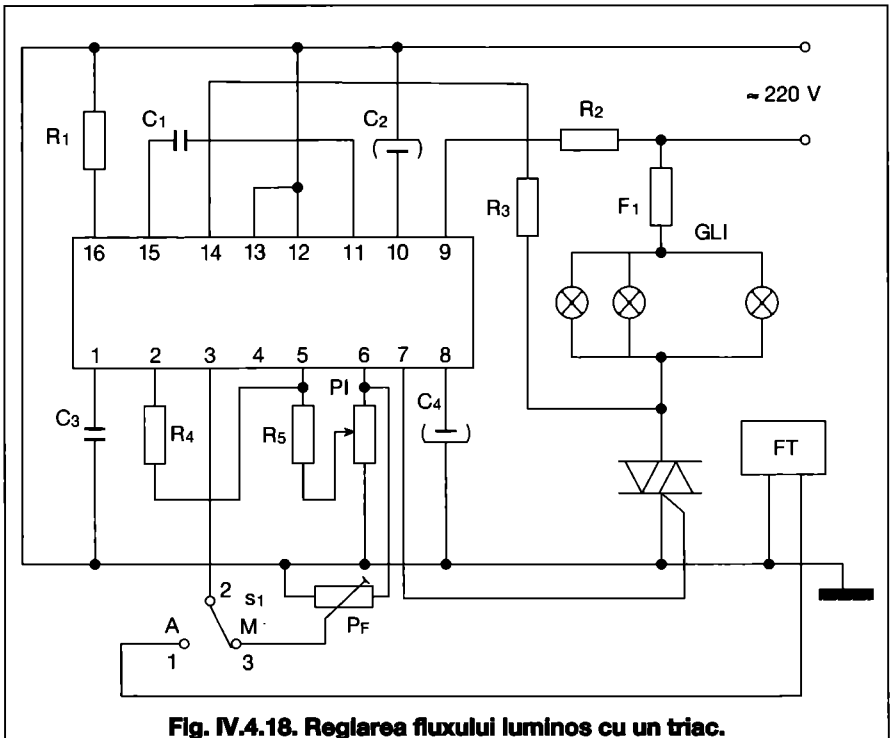


Fig. IV.4.18. Reglarea fluxului luminos cu un triac.

În fig. IV.4.19 este arătată cum variază calitativ $\dot{V}$, H și P în funcție de turație.

Din relația 4.8.3 și fig. IV.4.19 c rezultă dependența puternică a puterii P față de turația n ceea ce implică și dependența consumului de energie W în funcție de turația *n* (fig.IV.4.20).

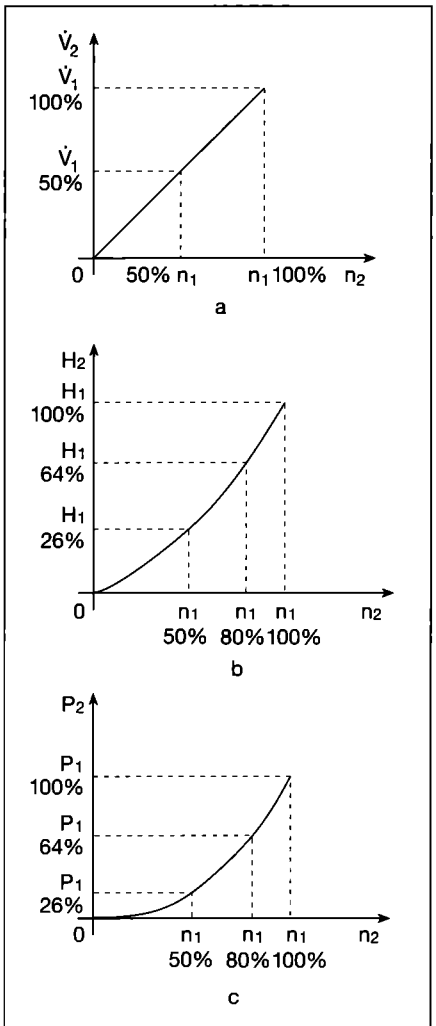


Fig. IV.4.19. Variația parametrilor $\dot{V}$, H și P în funcție de n:
a - variația debitului $\dot{V}_2$ cu turația n_2; b - variația înălțimii de pompare H_2 cu turația n_2; c - variația puterii consumate P_2 cu turația n_2.

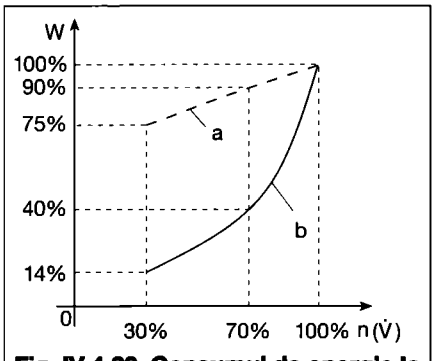


Fig. IV.4.20. Consumul de energie la o pompă cu turația constantă și la o pompă cu turația variabilă:
a - pompă cu turația constantă; b - pompa cu turație variabilă.

La variația debitului, utilizarea pompelor cu turație constantă, conduce la creșterea înălțimii de pompare care are o serie întreagă de inconveniente.

Problema reglării turației a fost asigurată la început la motoarele de curent continuu și apoi la cele de curent alternativ. Inițial s-au utilizat metode de reducere a tensiunii de alimentare a statorului la motoarele sincrone cu rotorul în colivie și introducerea de rezistențe în circuitul rotoric la motoarele asincrone cu rotorul bobinat; de asemenea, s-a utilizat modificarea numărului perechilor de poli conform relației:

$$n = \frac{60f}{p} \qquad (4.8.4)$$

în care:
f - este frecvența,
p - numărul perechilor de poli.

Soluția optimă este aceea a modificării frecvenței. Ea a putut fi utilizată odată cu introducerea comutației statice, a dispozitivelor semiconductoare de putere și realizării convertizoarelor de frecvență.

Reglarea turației prin variația tensiunii de alimentare a statorului la motoarele asincrone cu rotorul în colivie se poate realiza eficient cu tiristoare ce utilizează principiul „tăierii sinusoidei" (fig. IV.4.21) sau a „trenurilor de impulsuri" (fig. IV.4.22).

În fig. IV.4.23 este prezentată schema de principiu a reglării turației motoarelor asincrone cu rotorul în colivie prin variația tensiunii de alimentare a statorului cu ajutorul tiristoarelor.

Se observă că tahogeneratorul TG măsoară turația și o trimite comparatorului C. Acesta face comparația între turația motorului n_r și turația dorită; abaterea o transmite regulatorului de turație R_n. Semnalul acestuia este aplicat dispozitivului de comandă pe grila DCG care deschide cele șase tiristoare (sau trei triacuri) în așa fel încât la bornele statorice ale motorului electric să se aplice o tensiune care conduce la obținerea $n_r = n_i$.

Reglarea turației motoarelor asincrone cu inele cu cascadă subsincronă cu tiristoare, conduce la reglarea turație fără pierderi, energia electrică din rotor fiind recuperată în rețea.

Schema bloc pentru reglarea turației motoarelor asincrone cu inele prin cascadă subsincronă cu tiristoare este prezentată în fig. IV.4.24.

Această schemă cuprinde un redresor trifazat cu diode R cu rolul de a redresa tensiunea rotorică L_f cu rol de filtru de curent și un invertor I cu tiristoare care are rolul de a transforma tensiunea continuă în tensiune alternativă și de a recupera în rețea energia electrică prin intermediul unui transformator de recuperare T, astfel obținându-se și variația turației motorului.

Schema desfășurată electrică corespunzătoare schemei bloc este identică cu cea prezentată în fig. IV.4.8.

Curentul de la rețea este redresat și filtrat după care este transformat în curent alternativ trifazat prin intermediul unui invertor. Comanda invertorului este asigurată prin intermediul unui microcalculator conceput pentru această aplicație. Curenții furnizați de convertizor sunt trifazați cu frecvență variabilă între 0...160 Hz pentru motoarele cu puteri sub 4 kW și 0...240 Hz pentru motoarele cu puteri cuprinse între 5 și 110 kW.

DANFOSS produce convertizoare de frecvență, seria VLT - 3500 pentru motoare electrice cu puteri cuprinse între 0,75...250 kW.

Firma SCHNEIDER ELECTRIC realizează convertizoarele statice ALTISTART pentru motoare electrice cu puteri cuprinse între 1,1 și 37 kW.

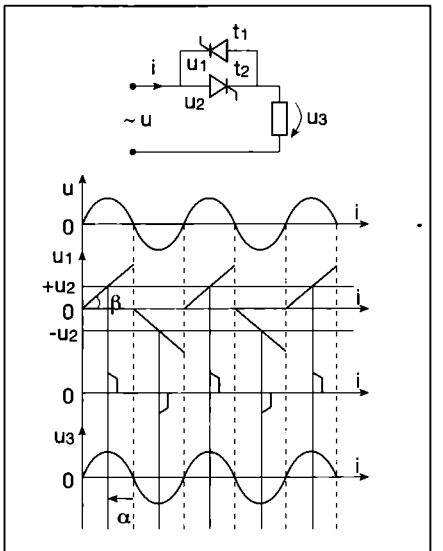


Fig. IV.4.21. Variația tensiunii de alimentare cu ajutorul tiristoarelor, pe principiul „tăierii sinusoidei".

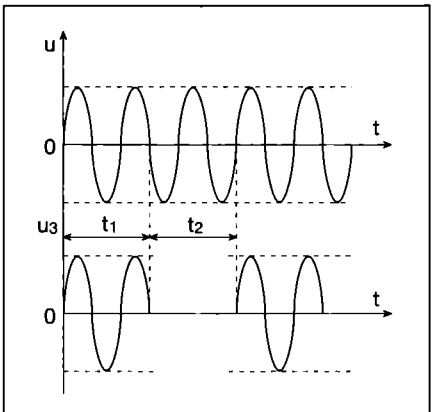


Fig. IV.4.22. Variația tensiunii de alimentare cu ajutorul tiristoarelor, prin aplicarea unor „trenuri de sinusoide".

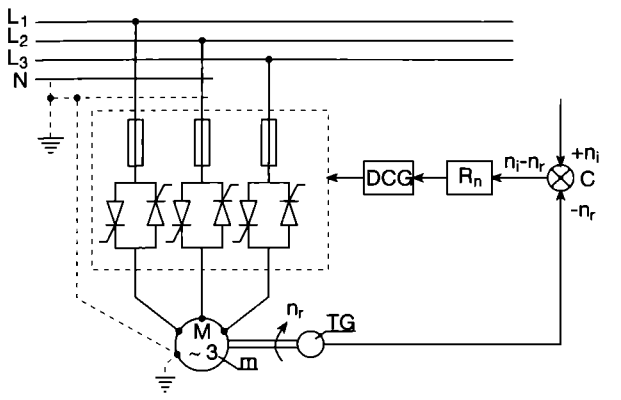


Fig. IV.4.23. Schema de principiu a reglării turației motoarelor asincrone cu rotorul în colivie prin variația tensiunii de alimentare a statorului cu ajutorul tiristoarelor.

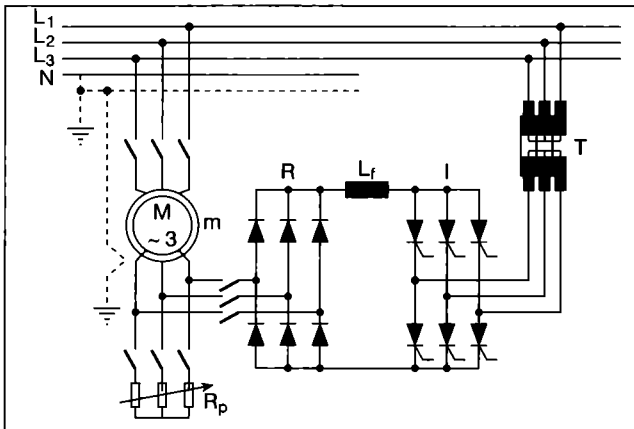


Fig. IV.4.24. Schema bloc pentru reglarea turației motoarelor asincrone cu inele prin cascadă subsincronă cu tiristoare.

4.9. Acordarea regulatoarelor

La punerea în funcțiune a instalațiilor automatizate se verifică atingerea performanțelor impuse în faza de proiectare. În acest scop se fac determinări experimentale ale unor valori ale mărimilor conduse automat și se verifică valoarea corectă a parametrilor aparatelor și regulatoarelor.

În primul rând se probează funcționarea instalației în regim staționar și cu conducere manuală. Cu regulatorul automat în regim manual se măsoară semnalul în toate punctele accesibile ale buclei de reglare pentru întregul domeniu de funcționare și se verifică constantele de proporționalitate ale aparatelor. Dacă constanta de timp ia valoarea maximă ($T_i = \infty$), iar constanta de timp derivativ este nulă ($T_D = 0$) se determină cu această ocazie și valoarea corectă a următorilor parametri ai regulatorului: constanta de proporționalitate K_R, zona de insensibilitate și pragul limitatorului mărimii de comandă.

Performanțele instalației cu bucla de reglare închisă se verifică, de obicei, pe baza răspunsului indicial cu parametrii proiectați ai regulatorului, în punctul nominal de funcționare și în regim de urmărire. Parametrii utilizați mai frecvent pentru aprecierea performanțelor sunt eroarea staționară ε_{st}, suprareglarea τ, gradul de amortizare δ, durata regimului tranzitoriu t_{tr} și pulsația oscilațiilor ω_o. Dacă sistemul automat este aproximat cu un sistem de ordinul doi, cum se întâmplă adesea, atunci toți acești indicatori de performanță depind numai de două mărimi: fracțiunea de amortizare critică ρ și frecvența proprie (naturală) ν_n a sistemului.

Minimum de performanțe solicitate sistemelor automate îl reprezintă: sistemul să fie stabil; eroarea staționară să fie zero sau mai mică decât o valoare impusă; proprietățile sistemului să rămână valabile chiar și în prezența unor variații arbitrare, dar mici, ale parametrilor sistemului. Regulatorul multivariabil care asigură aceste performanțe se numește robust. Regulatorul monovariabil tip PID posedă întotdeauna caracteristici de robustețe dacă este acordat în mod corespunzător. Pentru sistemele automate multivariabile având numărul variabilelor de ieșire y egal cu numărul variabilelor de comandă u se solicită, adeseori, propietatea de decuplare. În felul acesta fiecare ieșire depinde de o singură intrare.

În practică, pe lângă robustețe sunt necesare, de cele mai multe ori, și alte performanțe. Acestea sunt specifice sistemelor automate de urmărire, sistemelor automate de stabilizare (reglare) și sistemelor automate care trebuie să funcționeze bine atât în regim de urmărire cât și în regim de stabilizare. În cazurile frecvente în care nu se impun sistemului automat anumite performanțe specifice este de dorit ca sistemul să aibă o comportare globală bună.

Dacă performanțele instalației automatizate nu pot fi atinse cu ajutorul regulatorului proiectat, iar mici modificări ale constantei de proporționalitate nu sunt folositoare, atunci este necesară reproiectarea regulatorului. În acest scop se verifică identificarea părții fixe a sistemului automat, se stabilește domeniul de liniaritate, se reconsideră structura sistemului automat și a regulatorului și se stabilesc valori noi pentru parametrii regulatorului.

IV. Automatizări

Capitolul 5
Automatizarea instalațiilor hidraulice

5.1. Generalități

Stațiile de pompare pentru alimentarea cu apă necesară consumului menajer, industrial sau pentru combaterea incendiilor, sunt prevăzute cu instalații de automatizare care au scopul de a asigura funcționarea acestora la parametrii proiectați, de a pune în funcțiune prin rotație pompa de rezervă și de a asigura pornirea automată a pompei de rezervă în cazul defectării pompei active.

În cazul stațiilor de pompare pentru incendiu, schema de comandă realizează anclanșarea pompei de rezervă la dispariția tensiunii de alimentare a pompei în funcțiune.

Automatizarea funcționării pompelor se poate realiza în funcție de presiune, de debit, sau de presiune și debit.

5.2. Automatizarea stațiilor de pompare în funcție de presiune

Pentru automatizarea stațiilor de pompare în funcție de presiune, se prevăd recipiente de hidrofor pe care sunt montate presostate.

Pentru stații de pompare cu o pompă activă și una de rezervă, regimul de funcționare este prezentat în fig. IV.5.1.

La atingerea presiunii P_p, presostatul PC comandă pornirea pompei active, iar la atingerea presiunii P_0, presostatul comandă oprirea pompei active.

Semnalizatorul de nivel cu electrozi LIC a fost prevăzut pentru protecția pompelor în cazul scăderii nivelului apei în VT sub o valoare minimă.

În schema de comandă exemplificată în fig. IV.5.2, aferentă schemei tehnologice din fig. IV.5.1, s-a prevăzut selectarea regimului de comandă (A - automat, M - manual) prin intermediul comutatorului cu came S_1. Comanda manuală a pompelor, realizată prin intermediul bornelor de pornire bp_1 și bp_2, respectiv de oprire bo_1 și bo_2, este specifică perioadelor de probe.

În regimul de comandă automată, pompa activă, selectată în prealabil cu ajutorul comutatorului S_2, va porni și se va opri automat, comandată de PC, iar în cazul defectării pompei active va porni automat pompa de rezervă (releul termic al pompei active, F_1 respectiv F_2, va anclanșa releul intermediar de avarie, K_{01} respectiv K_{02}, care va realiza comutarea pe rezervă).

Atingerea nivelului minim în VT, precum și avarierea ambelor pompe sunt semnalizate optic și acustic.

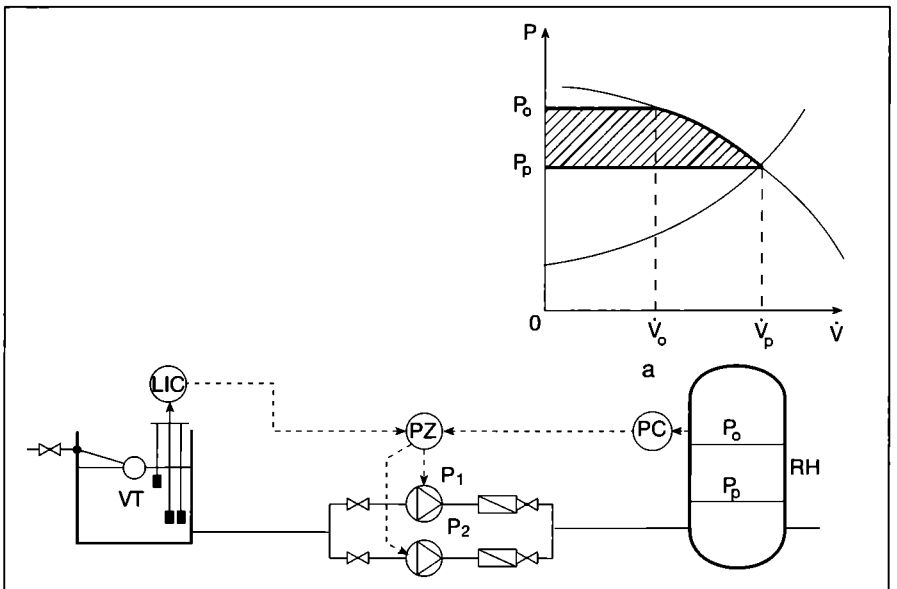


Fig. IV.5.1. Stație de pompare cu o pompă activă și una de rezervă, automatizată în funcție de presiune:
a - schemă funcțională;
b - schemă tehnologică cu aparatura de automatizare;
VT - vas tampon; P1, P2 - pompe; RH - recipient de hidrofor; LIC - semnalizator de nivel cu electrozi; PC - presostat; PZ - blocul (schema) de comandă.

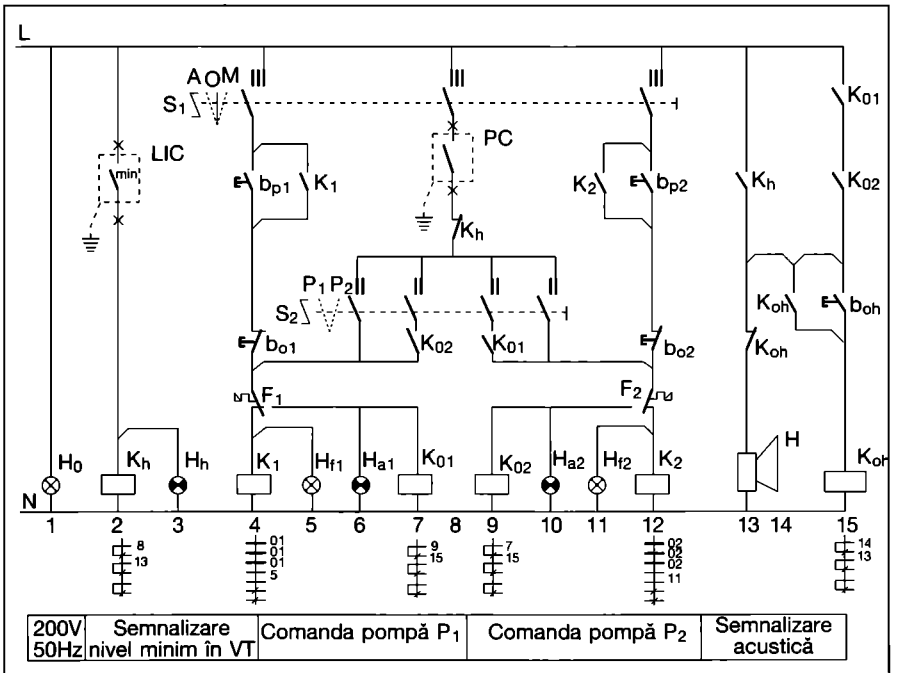


Fig. IV.5.2. Schema de comandă aferentă stației de pompare din fig. IV.5.1.

5.3 Automatizarea stațiilor de pompare în funcție de presiune, cu presiunea etajată descrescător

În cazul unei stații de pompare cu două pompe care funcționează în paralel și una de rezervă, schema funcțională și schema tehnologică sunt redate în fig. IV.5.3.

La atingerea presiunii P_{p1} presostatul primei pompe comandă pornirea pompei, iar la atingerea presiunii P_{o1} acesta va comanda oprirea pompei. Ciclul se reia până în momentul în care debitul cerut de consumatori devine mai mare ca debitul $\dot{V}_{p1}$ dat de prima pompă, când scăderea presiunii în recipientul de hidrofor până la valoarea P_{p2} este sesizată de presostatul celei de-a doua pompe care va comanda pornirea acesteia.

La atingerea presiunii P_{o2}, dacă debitul cerut la consumatori este mai mare ca $\dot{V}_{p1}$, la comanda presostatului, cea de-a doua pompă se va opri, rămânând în funcțiune numai prima pompă.

Dacă la atingerea presiunii P_{o2} debitul cerut la consumatori este mai mic decât $\dot{V}_{p1}$, presiunea din recipientul de hidrofor crește și în acest caz presostatele

comandă oprirea celor două pompe.

La atingerea presiunii P_{p1} prima pompă intră în funcțiune și ciclul se repetă.

În fig. IV.5.4 este exemplificată o schemă de comandă care realizează algoritmul de funcționare descris mai sus, semnificația și rolul componentelor fiind asemănătoare cu cele din schema IV.5.2.

Pentru obținerea unei uzuri uniforme a pompelor, în schema IV.5.4 s-a prevăzut comutatorul S_2 prin intermediul căruia se pot selecta cele două pompe active și implicit pompa de rezervă, aceasta intrând automat în funcțiune la defectarea oricăreia dintre pompele active. De exemplu, grupul de contacte din circuitele 8 și 9 va realiza pornirea automată a pompei P_1 atunci când sunt selectate P_1 și P_2 ca pompe active și s-a atins nivelul de presiune P_{p1} (releul K_{p1} și-a închis contactul din circuitul 8), sau când este selectat grupul de pompe P_2 și P_3 iar P_2 este avariată, sau când este selectat grupul de pompe P_3 și P_1 și și-a atins nivelul de presiune P_{p2} (releul K_{p2} și-a închis contactul din circuitul 9).

Și în această schemă funcționarea, respectiv, avarierea unei pompe, sunt semnalizate optic, iar avarierea pompei de rezervă sau atingerea nivelului minim în VT sunt semnalizate și acustic.

Întreruperea semnalizării acustice se face prin acționarea butonului oprire-hupă (b_{oh}), anclanșându-se releul K_{oh}, acesta automențînându-se prin contactul său normal deschis din circuitul 23 și deschizând contactul normal închis din circuitul 22. După îndepărtarea avariei, hupa va trece automat în stare de funcționare (K_{oh} nu se mai automenține).

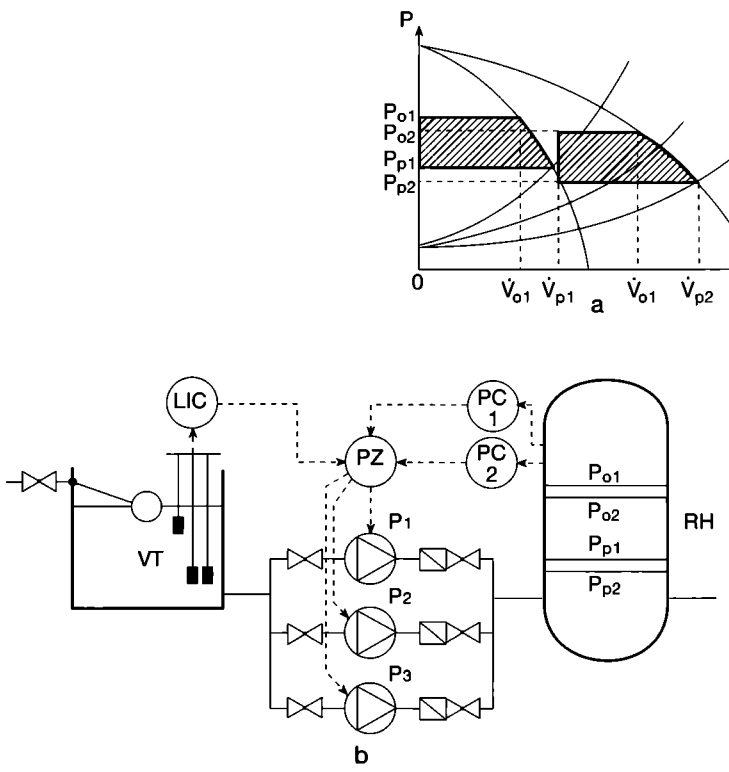


Fig. IV.5.3. Stație de pompare cu două pompe active și una de rezervă, automatizată în funcție de presiune, cu presiunea etajată descrescător:
VT - vas tampon; P1, P2, P3 - pompe; RH - recipient de hidrofor;
LIC - semnalizator de nivel cu electrozi; PC1, PC2 - presostate;
PZ - blocul (schema) de comandă.

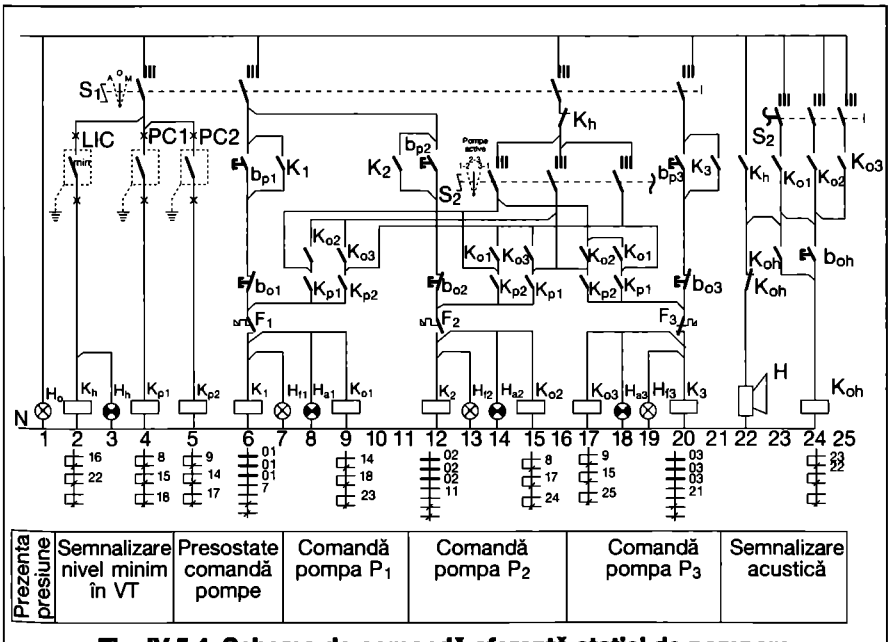


Fig. IV.5.4. Schema de comandă aferentă stației de pompare din fig. IV.5.3.

5.4 Automatizarea stațiilor de pompare în funcție de presiune, cu presiunea etajată crescător

Așa cum se observă din schema funcțională din fig. IV.5.1 și în special din fig. IV.5.3, presiunile sunt etajate descrescător în sensul că prima pompă intră și iese din funcțiune la presiuni mai mari decât presiunile celei de-a doua pompe.

Deoarece o mare parte din timp la funcționarea în paralel a două pompe, funcționează numai prima pompă, se poate obține o economie de energie dacă prima pompă poate să funcționeze la nivelele de presiune mai scăzute decât cele la care funcționează cea de-a doua pompă (fig. IV.5.5 a). Schema de automatizare din fig. IV.5.6 realizează algoritmul de pornire descris în fig. IV.5.5 a. Spre deosebire de schema anterioară, această schemă utilizează în plus un presostat cu acțiune inversă (deschide circuitul la presiunea de pornire și îl închide la presiunea de oprire) și un releu intermediar.

Considerând momentul de funcționare când pompele nu lucrează și când apa este trimisă în instalație de către presiunea creată în recipientul de hidrofor, acest moment corespunde unei presiuni cuprinse între P_{p1} și P_{o1}, respectiv unui debit $\dot{V}_1$ mai mic decât debitul unei singure pompe. Contactele presostatelor PC1 și PC2 sunt deschise, deci pompele P_1 și P_2 nu lucrează.

Dacă se menține debitul $\dot{V}_1$ și pompele nu lucrează, presiunea în recipientul de hidrofor va scădea până la atingerea valorii P_{p1}.

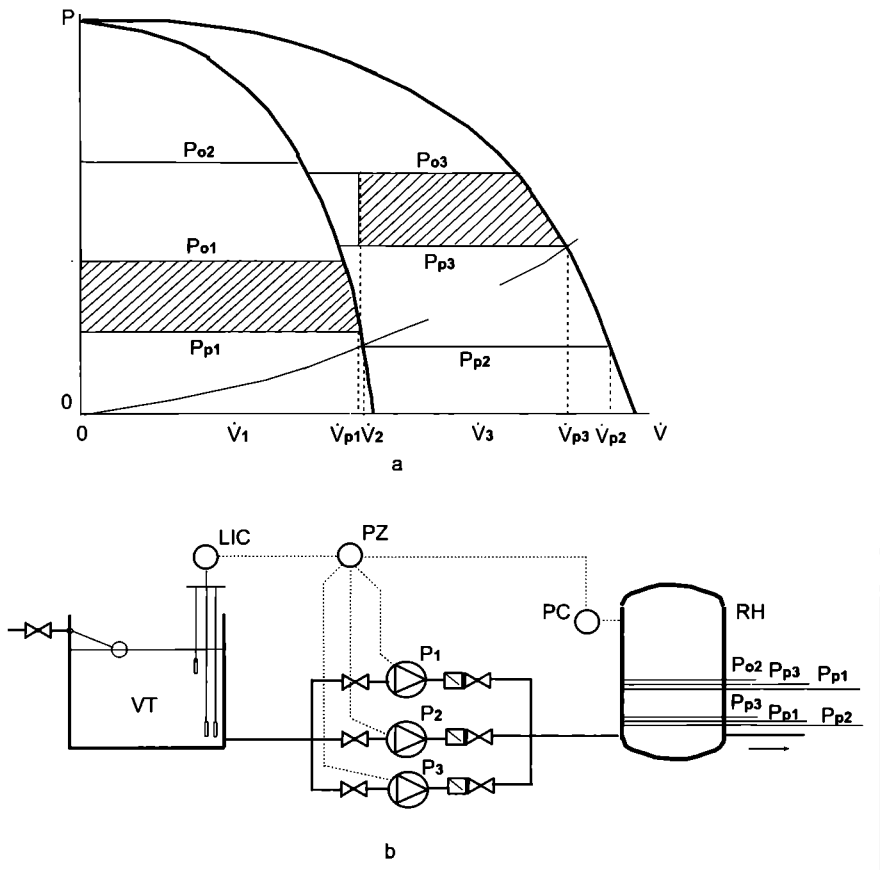


Fig. IV.5.5. Stație de pompare cu două pompe active și una de rezervă, cu presiunea etajată crescător:

a - schema funcțională în cazul presiunii etajate crescător;

b - schema tehnologică cu aparatura de automatizare.

P_1; P_2; P_3 – pompe de circulație; PC1; PC2; PC3 – presostate; M_1; M_2 – motoarele pompelor de circulație active P_1 și P_2; LIC – semnalizator de nivel cu electrozi; PC – presostat; PZ – bloc (schema) de comandă; RH – recipient de hidrofor

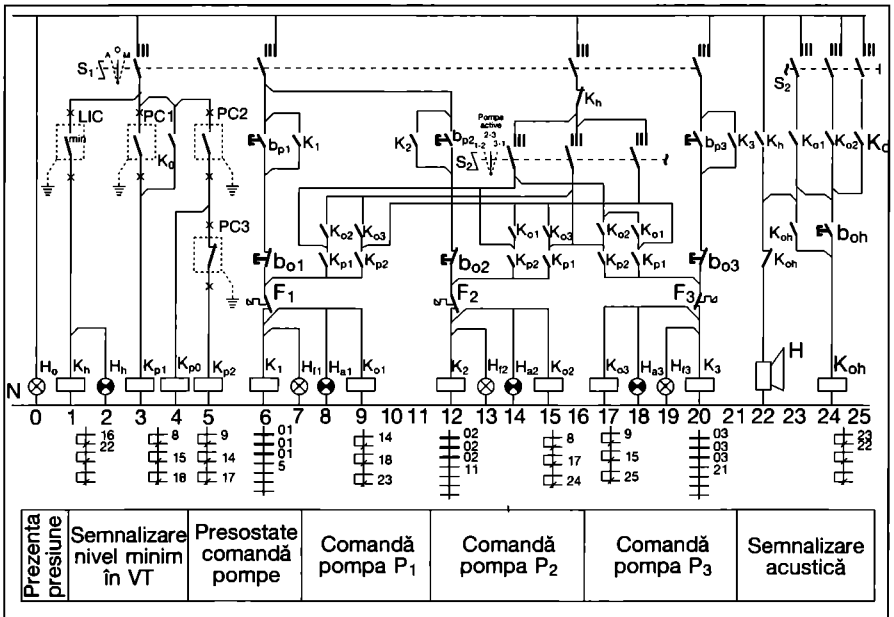


Fig. IV.5.6. Schema de comandă aferentă stației de pompare cu două pompe active și o rezervă, automatizată cu presiunile etajate crescător.

În acest moment presostatul PC1 își închide contactul realizând pornirea pompei P_1 care va funcționa până la atingerea presiunii P_{o1} când presostatul PC1 va comanda oprirea pompei.

Atâta timp cât consumul este mai mic decât debitul maxim al pompei P1 (debitul corespunzător presiunii ei de pornire, $\dot{V}_{p1}$), această pompă va funcționa singură între limitele P_{p1} și P_{o1}.

Dacă consumul crește peste debitul $\dot{V}_{p1}$ presiunea din recipient scade sub P_{p1} atingând valoarea P_{p2}, când contactul presostatului PC2 se închide comandând intrarea în funcțiune a pompei P_2.

Când pompa P_2 începe să lucreze, ea asigură un debit $\dot{V}_{p2}$ care va determina o creștere bruscă a presiunii în recipientul de hidrofor deoarece consumul $\dot{V}_{p1}$ este destul de mic în comparație cu $\dot{V}_{p2}$.

Odată cu anclanșarea releului K_{p2} prin care comandă pornirea pompei P_2 contactul presostatului PC2 pune sub tensiune și bobina releului K_{p0} care își închide contactul său din circuitul 4. Astfel, atâta timp cât va acționa pompa P_2 va funcționa și pompa P_1, indiferent de poziția contactului presostatului PC1.

Pentru orice debit $\dot{V}_3$ cuprins între debitele $\dot{V}_2$ și $\dot{V}_{p2}$, pompele P_1 și P_2 vor lucra între limitele de presiune P_{p3} și P_{o3}, pompa P_1 funcționând continuu, iar pompa P_2 va funcționa între presiunea de pornire P_{p3} și presiunea de oprire P_{o3} (la atingerea presiunii P_{o3} contactul normal închis al presostatului PC3 se deschide și pompa P_2 este oprită).

Dacă consumul scade sub debitul $\dot{V}_2$, la funcționarea celor două pompe, presiunea va crește în recipientul de hidrofor până la valoarea P_{o3}, când se va opri pompa P_2; pompa P_1 rămânând în funcțiune, presiunea va continua să crească deoarece debitul ei va fi mai mare decât consumul. În acest caz presiunea va crește peste valoarea P_{o3} atingând valoarea P_{o2} când se va opri și pompa P_1.

Când presiunea coboară la valoarea P_{p1}, intră în funcțiune pompa P_1 și întregul ciclu se reia.

Față de schema de automatizare cu presiunea etajată descrescător, schema de automatizare cu presiunea etajată crescător necesită în plus un presostat cu acțiune inversă și un releu intermediar, dar conduce la o reducere a consumului de energie electrică cu cca. 50...10 %.

5.5. Automatizarea stațiilor de pompare în funcție de presiune și debit

Comanda pompelor în funcție de debit elimină, în principiu, recipientele de hidrofor din stațiile de pompare și, după unii autori, se consideră că este mai economică decât comanda în funcție de presiune.

Costul de investiție al stațiilor de pompare cu recipienți de hidrofor este, în general, cu 25...35 % mai mare decât costul de investiție al stațiilor fără recipienți, ca în cazul comenzii pompelor funcție de debit.

Costul consumului de energie de pompare este în general mai mare în cazul comenzii funcție de debit decât în cazul comenzii funcție de presiune. Alegerea soluției care trebuie adoptată se va face pe baza unui calcul tehnico-economic comparativ.

Reglajul dependent de debit din fig. IV.5.1 presupune o curgere continuă în rețeaua de alimentare cu apă, astfel că el nu poate fi aplicat pentru toate pompele, deoarece, în cazul în care nu există consum sau la un consum foarte mic instalația nu mai poate funcționa.

În acest caz este nevoie de combinarea comenzii funcție de debit cu comanda funcție de presiune.

Prima pompă va fi comandată de presiune, iar cea de-a doua în funcție de debit.

Pentru pompa de bază este indicat să se folosească o pompă cu caracteristica debit-presiune accentuat descendentă, nu aplatizată, și cu un debit mic. Aceasta va permite utilizarea comenzii funcție de presiune și cu un ecart optim între presiunea de pornire și presiunea de oprire, deci cu un consum redus de energie electrică și totodată un volum mic al recipientului de hidrofor.

În fig. IV.5.7 este redată schema tehnologică cu aparatura de automatizare pentru instalația descrisă mai sus, în care s-a prevăzut o pompă de rezervă numai pentru pompa de bază, avându-se în vedere fiabilitatea ridicată a acționării cu variator de turație.

Adaptorul de debit FT oferă la ieșire un semnal unificat 0...10 mA, proporțional cu debitul măsurat de detectorul FE, care este aplicat pe intrarea analogică a variatorului de turație FZ.

Schema de comandă aferentă este redată în fig. IV.5.8, în care circuitele 1...12 sunt identice cu circuitele corespunzătoare din schema de comandă aferentă stației de pompare cu o pompă activă și una de rezervă din fig. IV.5.2.

Schema de comandă exemplificată utilizează pentru comanda pompei P3 în funcție de debit un variator de turație care funcționează pe principiul reglării directe a cuplului (DTC - Direct Torque Control), tehnologia fiind dezvoltată de firma ABB care livrează acest tip de variator începând din anul 1995.

Acest principiu de reglare elimină, practic, tahometrul și necesitatea unei bucle de reacție inversă de la acesta.

Schema bloc de principiu a acestui tip de variator de turație este redată în fig. IV.5.9.

Specific acestui regulator este că încorporează un bloc de calcul numeric în care este programat modelul adaptiv al motorului.

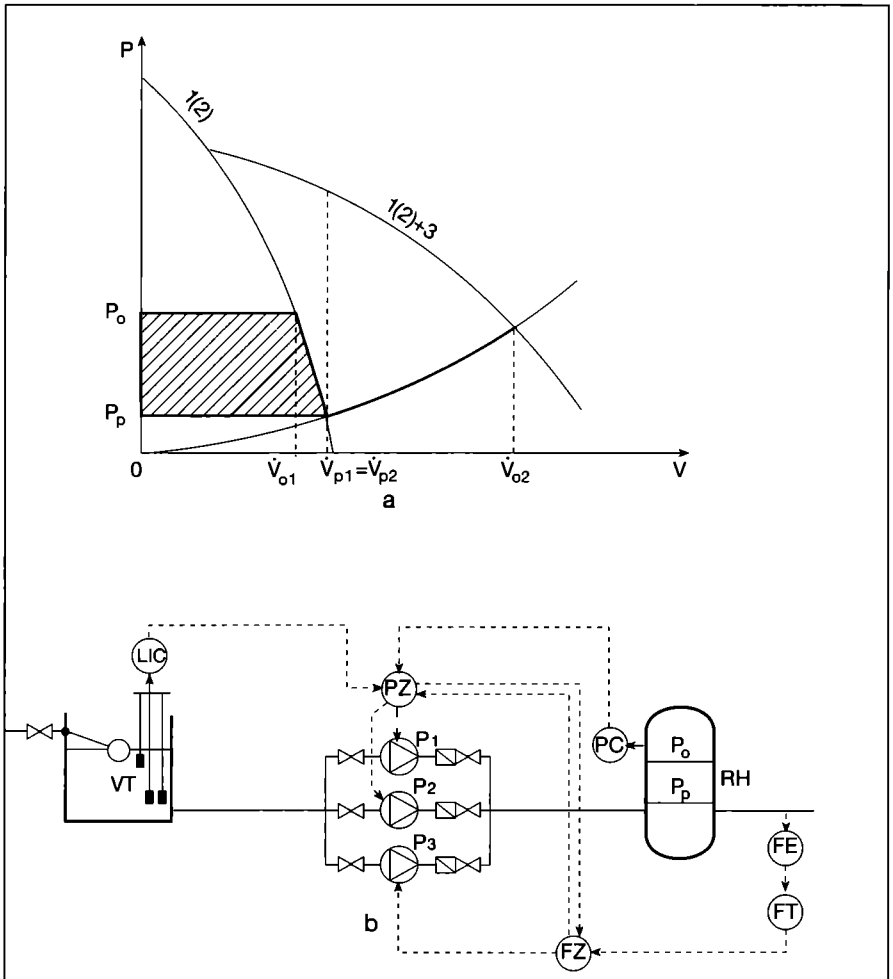


Fig. IV.5.7. Stație de pompare cu o pompă activă și una de rezervă acționate în funcție de presiune și o a treia pompă acționată în funcție de debit, cu variator de turație.

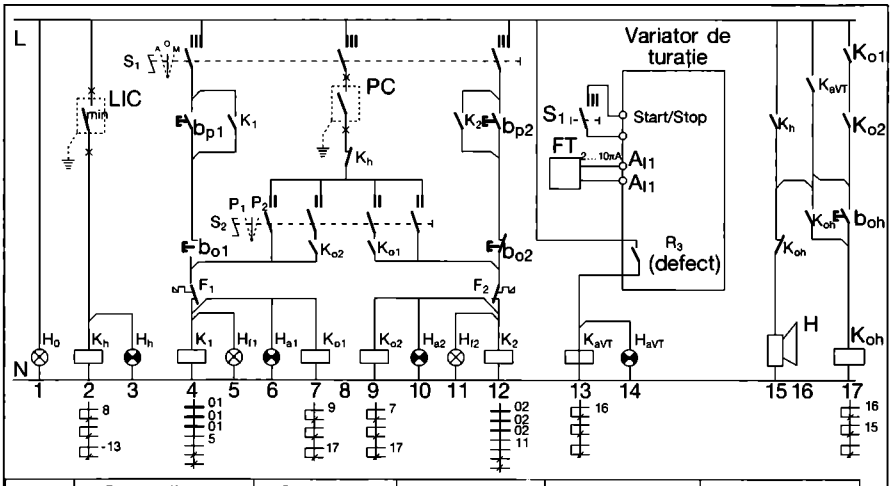


Fig. IV.5.8. Schema de comandă aferentă stației de pompare din fig. IV.5.7.

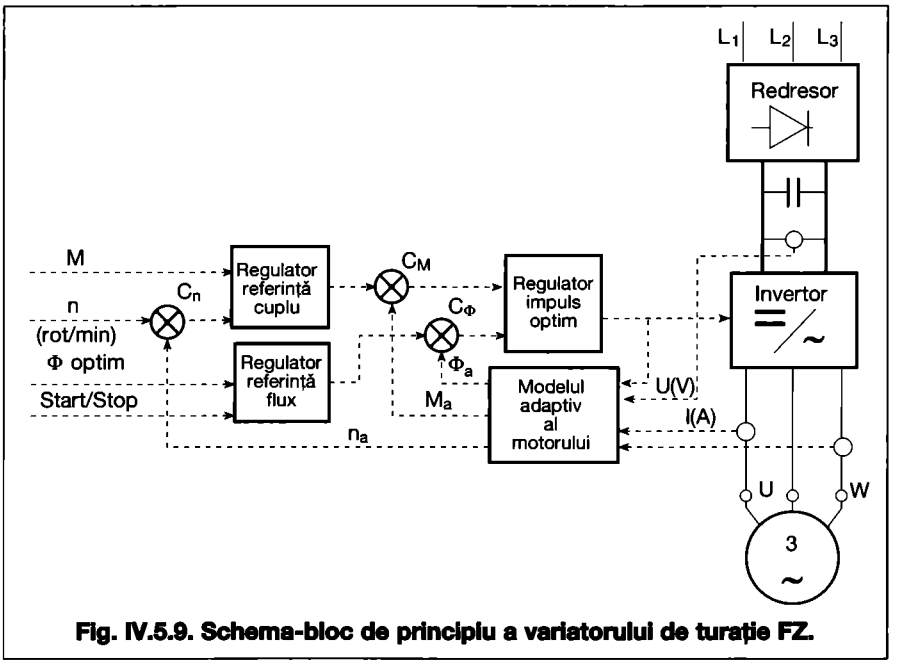


Fig. IV.5.9. Schema-bloc de principiu a variatorului de turație FZ.

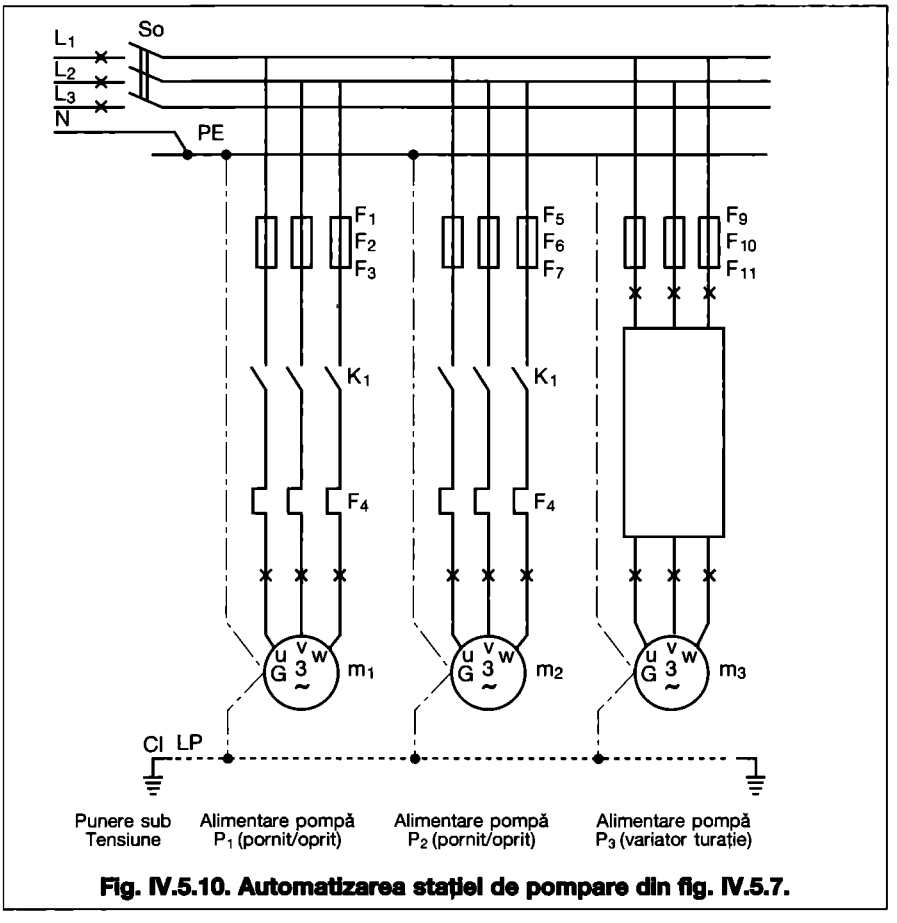


Fig. IV.5.10. Automatizarea stației de pompare din fig. IV.5.7.

Acest model se autoacordează în primele câteva secunde de la pornirea motorului, iar cu valorile pe care le primește la intrare (curentul pe linia de alimentare a motorului, tensiunea la intrarea în inverter și starea switch-urilor) și cu valorile presetate, determină valorile actuale ale: turației motorului, fluxului statoric și cuplului, valori actuale care constituie mărimile de intrare în comparatoarele regulatoarelor prevăzute în blocul de reglare pentru aceste mărimi.

În schema de comandă din fig. IV.5.8 se pune în funcțiune variatorul de turație la comutarea cheii S_1 pe poziția A - automat, întrucât pe intrarea analogică AI1 este aplicat semnalul de la traductorul de debit.

Stările de funcționare, repaus sau avarie sunt semnalizate optic pe cutia variatorului, pe tabloul de comandă proiectat fiind prevăzută o lampă de semnalizare avarie HaVT care va fi pusă sub tensiune de contactorul normal deschis al releului de avarie R_3 de la ieșirea variatorului. Avarierea variatorului va fi semnalizată și acustic, caz pentru care s-a prevăzut releul intermediar KaVT.

În schema electrică de forță (fig. IV.5.10) pentru circuitul motorului pompei P3 se vor prevedea în mod obligatoriu siguranțe fuzibile rapide. De asemenea, se va acorda o atenție deosebită alegerii motorului, mai ales în ce privește rezistența de izolație și se vor lua toate măsurile de protecție contra tensiunilor de atingere prevăzute de furnizor.

IV. Automatizări

Capitolul 6

Automatizarea instalațiilor termice

6.1. Automatizarea punctelor termice

Stadiul actual de automatizare a punctelor termice a atins un nivel ridicat de complexitate prin faptul că rezolvă atât conducerea locală a proceselor din fiecare punct termic, cât și conducerea întregului sistem de puncte termice dintr-o rețea de termoficare.

Sistemul automat de conducere și supraveghere a proceselor dintr-un anumit număr de puncte termice este un sistem distribuit, cu funcții distincte pentru automatizarea proceselor din punctele termice, pentru monitorizarea proceselor și supervizarea comenzilor, respectiv pentru citirea automată a contoarelor de energie termică. Un astfel de sistem complex de conducere a punctelor termice este, de fapt, un sistem SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), care este format din două părți principale:

1. reglarea temperaturilor de lucru din punctul termic;

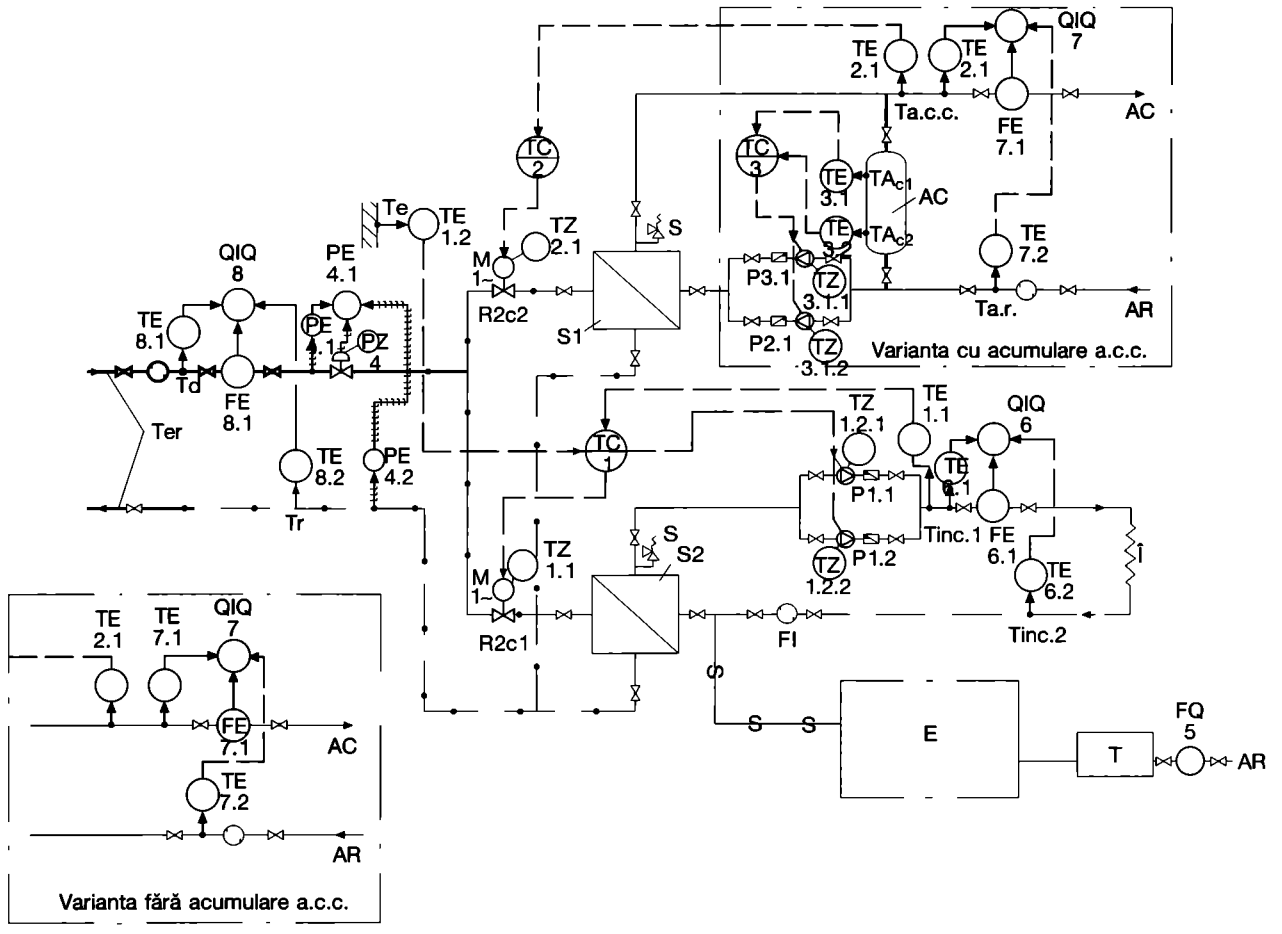


Fig. IV. 6.1. Schema tehnologică cu aparatura de automatizare pentru un punct termic.

Legendă:

AR - apă rece
AC - apă caldă
E - expansiune
Î - încălzire
T - tratare
Ter - termoficare

Te - temperatura exterioară
Ta.r. - temperatură apă rece
Ta.c.c. - temperatură apă caldă de consum
TAc - temperatura apei calde din vasul de acumulare

Tinc. 1;2 - temperatura agentului termic secundar de încălzire pe tur, respectiv retur
Td, Tr - temperatura agentului termic primar (de la termoficare) pe tur, respectiv retur
— — - circuite de măsură, de semnalizare, de comandă (electrice)
semnal hidraulic

(TE) element primar de temperatură
(FE) element primar de debit (curgere)
(TC) termostat
(TC) regulator de temperatură
(FQ) contor de debit
(FE) detector de debit (senzor)
(QIC) contor de căldură
(TZ) element de execuție în funcție de temperatură
(PE) senzor de presiune
(PC) element de comandă în funcție de presiune
(PZ) element de execuție în funcție de presiune

2. monitorizarea și conducerea operativă a punctului termic împreună cu citirea automată a contoarelor montate la scările de bloc aferente punctului termic.

Funcționarea în condiții optime a unui punct termic precum și a unei rețele urbane de termoficare presupune urmărirea și corectarea în timp real a principalilor parametri: debite, presiuni, temperaturi, cantități de căldură etc.

Rezultatul exploatării unui astfel de sistem de conducere și supraveghere a punctelor termice constă în gestionarea mai eficientă a resurselor, a consumurilor energetice și a producției la nivelul punctului termic, lucrul simplu și rapid cu clienții abonați (facturare automată).

6.1.1. Organizarea ierarhică a sistemului de conducere și supraveghere a punctelor termice

Sistemul de conducere și supraveghere a punctelor termice este organizat ierarhic pe trei niveluri.

Primul nivel este constituit din elementele primare care interacționează cu procesul. Acestea permit automatizarea locală a procesului, cât și preluarea și măsurarea mărimilor de interes din proces.

Componentele sistemului amplasate la acest nivel sunt următoarele:

- traductoarele de temperatură, presiune, nivel și alte elemente de măsurare/detectare;
- elementele primare de execuție, cum ar fi pompe de circulație, de recirculație, de ridicare a presiunii, robinete de reglare cu două sau cu trei căi;
- contoarele de energie termică montate pe intrarea, respectiv ieșirile punctului termic.

Al doilea nivel ierarhic cuprinde echipamentele de conducere automată locală a punctului termic și de achiziție a datelor din punctul termic. La acest nivel se deosebesc două tipuri de echipamente:

- controler specializat (CS) pentru procese termice care implementează algoritmii numerici de reglare și logica de comandă combinațională și secvențială;
- echipamentul de achiziție a datelor (EAD) din punctul termic.

Tot aici are loc și gestionarea și centralizarea automată a datelor în vederea transmiterii la distanță către dispecerul de zonă.

Al treilea nivel ierarhic este reprezentat de dispecerul de zonă, prevăzut cu mai multe calculatoare PC, unde se vor concentra toate informațiile solicitate de la fiecare punct termic. Pe lângă funcția de monitorizare, dispecerul de zonă are și rolul de supervizare și conducere operativă de la distanță a punctelor termice.

În continuare, se prezintă sub aspectele conceptuale și funcționale primele două niveluri ierarhice ale sistemului de conducere și supraveghere automată, localizate fizic în interiorul punctelor termice.

Într-un punct termic, pentru sistemul de conducere și supraveghere automată se disting următoarele părți componente:

- automatizarea punctului termic cu ajutorul unui controler specializat (CS) pentru procese termice;
- achiziția și monitorizarea datelor din punctul termic cu ajutorul echipamentului de achiziție a datelor (EAD);
- citirea automată a datelor provenite de la contoarele montate la scările de blocuri.

6.1.2. Funcționarea sistemului de automatizare al unui punct termic

Schema tehnologică cu aparatura de automatizare pentru un punct termic care prepară apa caldă de consum într-o treaptă în paralel cu instalația de încălzire, este prezentată în fig. IV.6.1.

Sistemul de automatizare a unui punct termic trebuie să asigure următoarele cerințe principale:

1) Comanda automată a pompelor de circulație a agentului termic de încălzire P1 în funcție de temperatură exterioară (θ_e);
2) Reglarea temperaturii agentului termic secundar pentru încălzire ($\theta_{înc}$) în funcție de temperatura exterioară (θ_e);
3) Reglarea temperaturii apei calde menajere (θ_{acc}) la valoarea prescrisă, în două variante: prepararea cu acumulare a apei calde; fără.
4) Limitarea debitului de agent termic primar care intră în punctul termic, prin acțiunea unei vane de reglare cu două căi și condiționată de temperatura pe conducta de retur.
5) Menținerea unei căderi de presiune constantă pe întregul punct termic prin utilizarea unui regulator de presiune diferențială (regulator direct sau fără energie auxiliară) montat pe returul primar. Se obține o echilibrare a circuitului primar și asigură un punct de funcționare stabil pentru vanele de reglare.
6) Posibilitatea de a configura programe orare, săptămânale și anuale, cu comutare automată între regimurile iarnă/vară, pentru furnizarea de căldură și apă caldă menajeră.
7) Permiterea funcționării în oricare din regimurile următoare dorite: automat, confort, redus și manual.
8) Comanda servomotoarelor vanelor de reglare cu semnale tripoziționale (rotire dreapta, rotire stânga, neacționat)
9) Pornirea și oprirea pompelor de circulație încălzire, recirculare și respectiv ridicare presiune apă caldă menajeră, în funcție de programarea orară și de regimul de operare.
10) Protecția la îngheț prin pornirea pompei de circulație încălzire.
11) Răspuns întârziat pe circuitul de încălzire la fluctuațiile rapide ale temperaturii exterioare.
12) Semnalizarea stării reale a elementelor de execuție din proces (pompe, robinete de reglare).
13) Pornirea periodică și pentru intervale de timp scurte a pompelor în perioadele prelungite de nefuncționare, pentru a preveni blocarea mecanică a pompelor.
14) Semnalizarea defecțiunilor apărute la traductoarele folosite în buclele de reglare.
15) Ajustarea valorilor măsurate de traductoarele de temperatură, ca urmare a constatării unei erori sistematice de măsurare.
16) Comunicația cu echipamentul de achiziție a datelor (EAD) printr-o interfață, astfel încât toate informațiile necesare să fie disponibile la EAD și să poată fi transmise la nivelul ierarhic superior.

6.1.3. Funcționarea sistemului de achiziție și monitorizare a datelor din punctul termic

Sistemul de achiziție și monitorizare a datelor la nivelul unui punct termic (PT) este organizat în jurul unui echipament de achiziție a datelor (EAD), care este de fapt un calculator industrial de proces specializat pentru utilizarea în procesele termice. Această componentă a sistemului SCADA este necesară pentru colectarea din punctul termic și transmisia la nivelul ierarhic superior (dispecerat) a tuturor parametrilor necesari, după cum se prezintă în continuare.

1) De la controlerul specializat (CS)

CS este prevăzut cu o interfață serială RS 232 prin care se pot transmite la EAD următoarele informații:

a) Configurația CS;
b) Parametrii buclelor de reglare automată;
c) Temperatura primară la intrarea în schimbătorul de căldură ACM;
d) Temperatura ACM;
e) Temperatura circuitului secundar de încălzire;
f) Temperatura exterioară;
g) Temperatura pe returul circuitului primar;

h) Starea traductoarelor și a elementelor de execuție;
i) Diferite semnale de avarie;
j) Valorile indicate de contoarele pentru apa de adaos.

2) De la contoarele de energie termică montate în PT
În PT se măsoară energia termică pe următoarele circuite:
a) Circuitul primar tur;
b) Circuitul secundar încălzire (pe fiecare ieșire spre consumator);
c) Circuitul ACM (pe fiecare ieșire spre consumator);
d) Recirculare ACM.

3) De la contoarele de energie termică montate la scările de bloc, organizate într-o rețea MBUS, prin intermediul centralei de citire MBUS.

4) Da la convertizoarele de frecvență pentru acționarea pompelor de ACM și de ÎNC
Convertizoarele de frecvență sunt prevăzute cu o interfață serială RS 485 care permite transmisia la EAD a următoarelor informații:
a) Starea de pornit / oprit a pompei de ACM sau de ÎNC;
b) Frecvența de lucru;
c) Diferite avarii.
Pompele pot fi pornite și oprite de la dispecer.

5) De la sistemul de expansiune
Sistemul de expansiune dispune de propriul echipament de automatizare, care printr-o interfață serială RS 485 transmite la EAD informații privind:
a) Nivelul apei din rezervor (min, max);
b) Starea de pornit sau de oprit a pompelor;
c) Semnale de avarie.

6) De la analizorul electric de putere se transmit la EAD energiile activă și reactivă.

7) Presiunile măsurate pe circuitele primar și secundar ÎNC și ACM, pe conductele de ducere și întoarcere.

8) De la sistemul de supraveghere al conductelor se trimite la EAD printr-o interfață serială RS 485 un semnal numeric referitor la detectarea avariilor pe conducte.

La EAD poate fi conectat un PC Laptop pentru operații de service, o imprimantă locală pentru tipărirea de rapoarte și calculatorul PC de la dispecerat prin fibră optică.

Schema bloc a sistemului de monitorizare a PT și conexiunile electrice pentru interfațarea EAD cu celelalte echipamente de automatizare din PT este prezentată în fig. IV.6.2.

6.1.4. Sistemul de citire automată a datelor provenite de la contoarele montate la scările de blocuri

Contoarele de energie termică montate la scările de bloc pe circuitele de încălzire și de apă caldă menajeră sunt citite automat prin intermediul unei rețele fizice MBUS, controlată de o centrală MBUS de lecturare a datelor. Pentru conectarea la EAD este necesară o interfață serială RS 232.

Prin intermediul comunicației MBUS, de la contoarele de energie sunt preluate următoarele mărimi:
- valorile instantanee ale temperaturilor tur – retur;
- valorile cumulate ale volumului și energiei termice;
- orele de funcționare;
- starea senzorilor de temperatură;
- starea acumulatoarelor de alimentare cu energie electrică;
- codurile de eroare, în măsura în care sunt disponibile.

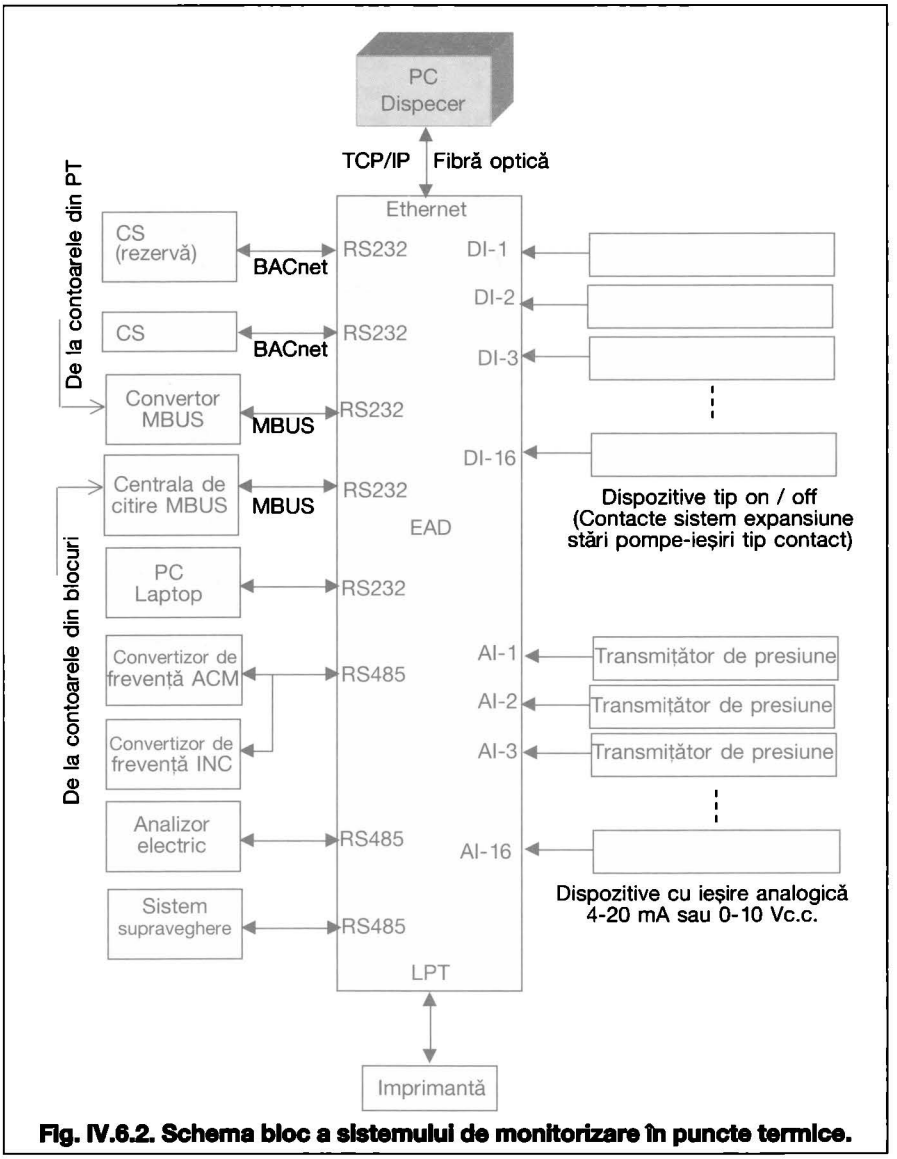


Fig. IV.6.2. Schema bloc a sistemului de monitorizare în puncte termice.

6.2. Automatizarea centralelor termice

6.2.1. Reglarea automată a temperaturii apei din boiler

Structura de reglare automată utilizată pentru controlul temperaturii apei menajere din boiler este structura de reglare clasică, cu un singur regulator. Funcționarea se bazează pe principiul minimizării abaterii dintre temperatura de referință impusă pentru apa caldă menajeră și temperatura măsurată a apei preparate în boiler. Regulatorul automat este unul neliniar de tip bipozițional.

Temperatura apei calde preparate în boiler va fi adusă la valoarea impusă cu ajutorul referinței, prin acțiuni de tipul pornit / oprit ale regulatorului asupra pompei din circuitul primar al boilerului. Pompa pornită acționează asupra boilerului modificându-i crescător temperatura.

Calea de reacție negativă a sistemului automat este constituită din traductorul care măsoară temperatura apei preparate în boiler. Funcție de tipul constructiv al boilerului, traductorul de temperatură se amplasează pe boiler la diferite înălțimi față de baza acestuia.

Diferențele dintre valoarea referinței și valoarea mărimii reglate apar ca urmare a modificării valorii mărimii de referință sau prin acțiunea perturbațiilor (consumul de apă caldă menajeră, izolația termică imperfectă a boilerului).

Pentru funcționarea centralei termice în regimul preparare apă caldă menajeră cu prioritate față de încălzirea clădirii, cazanul se comportă ca o sursă de energie termică la temperatură constantă. Această temperatură a cazanului se reglează la valoarea de 80°C cu ajutorul unei bucle de reglare automată proprie cazanului, prin acțiuni asupra arzătorului cazanului.

La finalizarea preparării apei calde menajere (atingerea valorii temperaturii prescrise) centrala termică trece în regimul încălzire, când alimentează cu căldură instalația de încălzire.

6.2.2. Variante de automatizare folosite în centralele termice

Se prezintă principalele variante de automatizare folosite în centralele termice, începând cu cele mai simple și mai puțin performante și terminând cu cele mai complexe și mai eficiente din punctul de vedere al asigurării confortului termic cu un consum minim de energie.

Modul de prezentare este gradual și se bazează pe adăugarea la varianta precedentă a unor noi posibilități de conducere automată.

6.2.2.1. Automatizarea minimală a cazanelor

Cea mai simplă variantă de automatizare a unei centrale termice și în același timp cea mai slabă din punctul de vedere al performanțelor obținute, este atunci când se utilizează automatizarea minimală a unui cazan.

Centrala termică dispune de unul sau mai multe cazane, fiecare echipat cu arzătorul propriu automatizat. Automatizarea arzătorului este condiție obligatorie.

În centrala termică există un tablou electric pentru alimentarea cazanelor și a pompelor de circulație a agentului termic.

Cazanul (cazanele) sunt prevăzute cu tablou (tablouri) de automatizare care conțin:

- circuit de alimentare electrică a arzătorului;
- termostat de reglare a temperaturii cazanului;
- termostat de securitate pentru oprirea arzătorului în cazul atingerii temperaturii maxime permise în cazan.

Pompele de circulație funcționează permanent și temperatura agentului termic la ieșirea din cazan se controlează cu ajutorul termostatului de reglare al cazanului.

În cazul existenței unui boiler pentru prepararea apei calde menajere, temperatura din boiler va fi egală cu cea a agentului termic care pleacă din cazan.

Nu se asigură prioritate pentru prepararea apei calde menajere și nici o temperatură constantă dorită a acesteia.

Schema electrică de automatizare este prezentată în fig. IV.6.3.

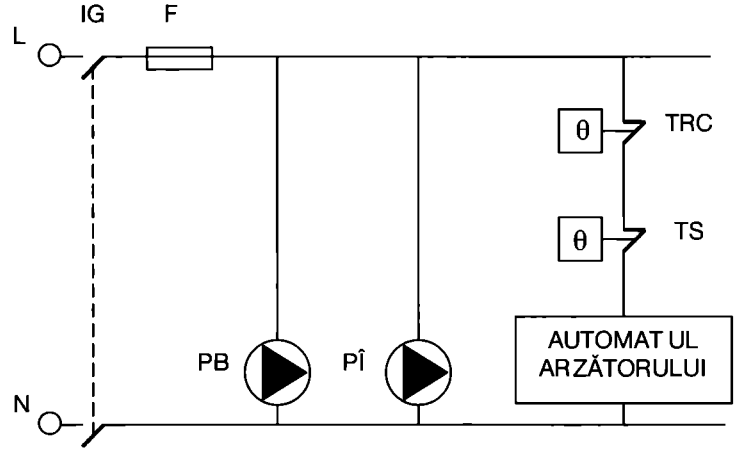


Fig. IV.6.3. Schema pentru automatizarea minimală a cazanelor.
IG – întreruptor general, F – siguranță fuzibilă, PB – pompă boiler, PÎ – pompă încălzire
TRC – termostat reglare cazan, TS – termostat securitate

6.2.2.2. Reglarea temperaturii interioare cu termostat de cameră

Varianta de automatizare se bazează pe automatizarea minimală a cazanelor descrisă mai înainte care se completează cu un termostat de cameră, amplasat corespunzător în interiorul clădirii încălzite.

Temperatura interioară se stabilește după dorință cu ajutorul termostatului și contactul electric al termostatului se leagă pe linia termostatică a cazanului, în serie cu contactul termostatului de reglare și cu contactul termostatului de securitate.

Temperatura interioară din clădire se reglează folosind o structură de reglare bipoziționlă. Arzătorul cazanului se oprește atunci când se atinge temperatura interioară dorită.

Termostatul de reglare a temperaturii cazanului se fixează la valoarea maximă permisă de acesta. Dacă valoarea temperaturii prescrisă de la termostatul cazanului va fi mai mică, atunci valoarea trebuie să fie aleasă astfel încât cazanul să asigure pentru clădirea (clădirile) încălzită necesarul de căldură cerut conform temperaturilor exterioare înregistrate în acea perioadă.

Pompele de circulație din circuitul de încălzire funcționează permanent.

În cazul existenței unui boiler pentru prepararea apei calde menajere, temperatura din boiler depinde de stările de pornit sau de oprit ale arzătorului, comandate de termostatul de cameră și de termostatul de reglare a temperaturii cazanului. Temperatura apei calde menajere poate atinge o valoare maximă egală cu cea fixată la termostatul de reglare a temperaturii cazanului.

Nu se asigură prioritate pentru prepararea apei calde menajere și nici o temperatură constantă dorită a acesteia.

Schema electrică de automatizare este prezentată în fig. IV.6.4.

6.2.2.3. Reglarea temperaturii interioare cu termostat de cameră și reglarea temperaturii apei calde cu termostat de boiler

Automatizarea se bazează pe varianta de reglare a temperaturii interioare cu termostat de cameră completată cu un termostat montat pe boiler. Nu se asigură prioritate pentru prepararea apei calde menajere. Temperatura acesteia poate atinge o valoare maximă egală cu cea fixată la termostatul boilerului prin comanda funcționării pompei din circuitul primar al boilerului.

Pompele de circulație din circuitul de încălzire funcționează permanent.

Schema electrică de automatizare este prezentată în fig. IV.6.5.

6.2.2.4. Reglarea temperaturii interioare cu termostat de cameră și reglarea temperaturii apei calde cu termostat de boiler. Prioritate apă caldă menajeră. Cronotermostat.

Sistemul automat în acest caz se completează cu un sistem logic de comandă care asigură prioritatea preparării apei calde menajere în raport cu încălzirea:

- dacă apa caldă preparată în boiler are temperatura prescrisă, atunci pompa din circuitul primar al boilerului este oprită, funcționează pompa (pompele) din circuitul de încălzire și cazanul (cazanele) funcționează numai pentru încălzirea clădirii;
- dacă apa caldă preparată în boiler are temperatura mai mică decât cea prescrisă, atunci pompa (pompele) din circuitul de încălzire se opresc, pornește pompa din circuitul primar al boilerului și cazanul (cazanele) funcționează numai pentru prepararea apei calde menajere.

Dacă temperatura interioară din clădire și temperatura apei din boiler sunt la valorile impuse cu ajutorul termostatului de cameră, respectiv termostatul de boiler, atunci sistemul automat al centralei termice oprește pompele de circulație din circuitul de încălzire și pompa din circuitul primar al boilerului. Arzătorul cazanului se oprește și va porni numai pentru menținerea temperaturii cazanelor la valoarea stabilită la termostatul de reglare al cazanului.

Termostatul de cameră poate fi înlocuit cu un cronotermostat, în scopul optimizării consumului de energie termică pentru încălzirea clădirii. Acesta permite programarea orară zilnică sau săptămânală a regimurilor confort și economic, la temperaturi interioare dorite.

Schema electrică de automatizare este prezentată în fig. IV.6.6.

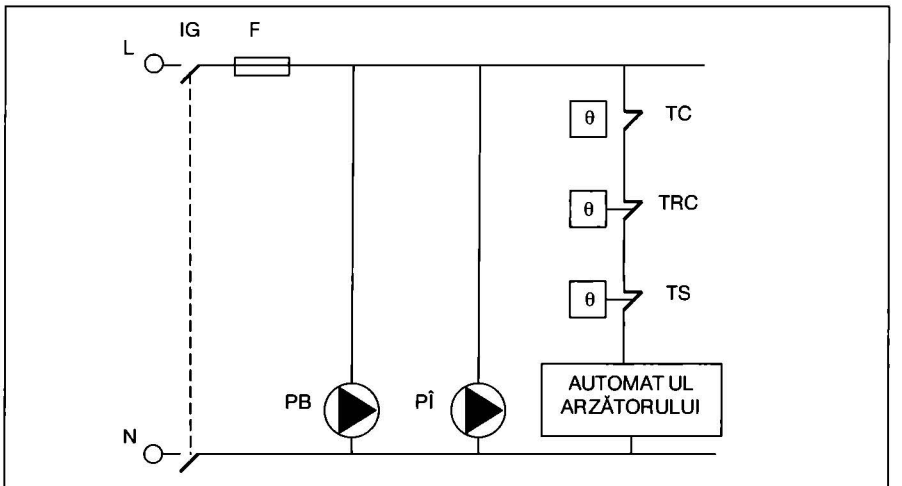


Fig. IV.6.4. Schema pentru reglarea temperaturii interioare cu termostat de cameră.

IG – întreruptor general, F – siguranță fuzibilă, PB – pompă boiler, PÎ – pompă încălzire TC – termostat de cameră, TRC – termostat reglare cazan, TS – termostat securitate.

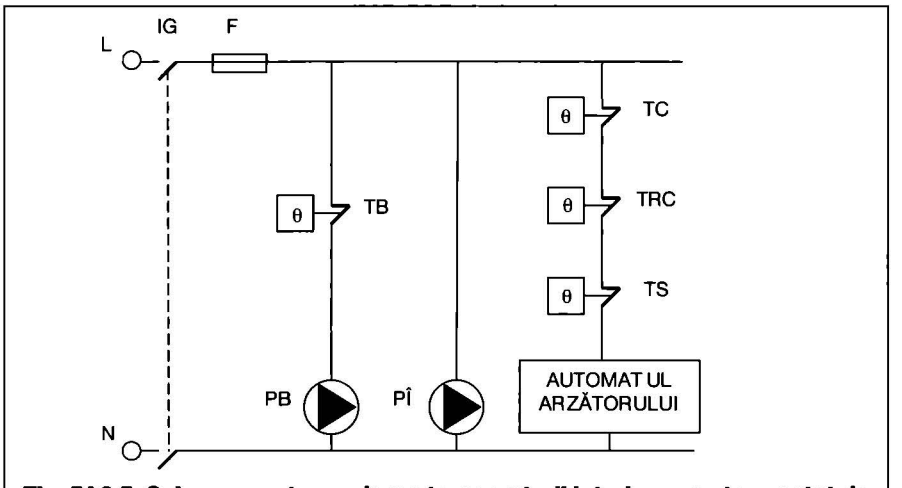


Fig. IV.6.5. Schema pentru reglarea temperaturii interioare cu termostat de cameră și reglarea temperaturii apei calde cu termostat de boiler

IG – întreruptor general, F – siguranță fuzibilă, PB – pompă boiler, PÎ – pompă încălzire, TC – termostat de cameră, TRC – termostat reglare cazan, TS – termostat securitate, TB – termostat boiler.

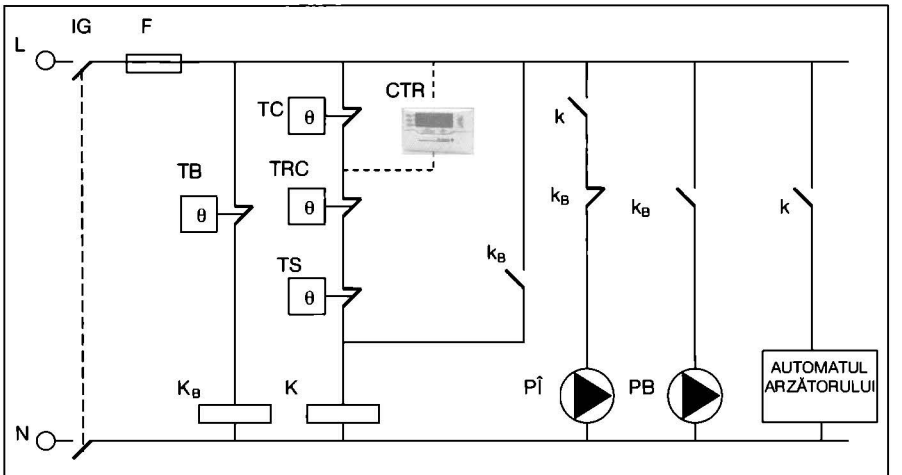


Fig. IV.6.6. Schema pentru reglarea temperaturii interioare cu termostat de cameră și reglarea temperaturii apei calde cu termostat de boiler. Prioritate apă caldă menajeră. Cronotermostat.

IG – întreruptor general, F – siguranță fuzibilă, TB – termostat boiler, TC – termostat de cameră, TRC – termostat reglare cazan, TS – termostat securitate, CTR - cronotermostat, K_B – releu comandă pompă boiler, K – releu comandă, PB – pompă boiler, PÎ – pompă încălzire.

6.2.2.5. Reglarea temperaturii agentului termic într-un circuit de încălzire direct folosind graficele de reglare

Cazanul centralei termice produce căldură numai pentru încălzire. Circuitul hidraulic al boilerului lipsește.

Temperatura agentului termic la plecarea din centrală se controlează cu un regulator electronic specializat care are implementate graficele (curbele) de reglare ale clădirii. Astfel, necesarul de căldură adus clădirii ține seama de temperatura exterioară măsurată, prin corelarea temperaturii agentului din conducta de ducere cu temperatura exterioară. Regulatorul electronic dispune de o familie de grafice de reglare din care se poate alege graficul corespunzător tipului de clădire și zonei climatice în care se află aceasta.

Regulatorul acționează asupra arzătorului (arzătoarelor) prin comenzi de pornire-oprire, sau de modulare a puterii flăcării.

Această variantă de automatizare nu dispune de traductor de temperatură interioară.

Schema electrică de automatizare este prezentată în fig. IV.6.7.

6.2.2.6. Reglarea temperaturii agentului termic folosind graficele de reglare și reglarea temperaturii apei calde menajere. Circuite directe independente de încălzire și de apă caldă

Cazanul centralei termice produce căldură pentru încălzire și pentru prepararea apei calde menajere. Circuitele hidraulice pentru instalația de încălzire și pentru boiler funcționează automat independent, dar prepararea apei calde menajere este prioritară.

Circuitele de încălzire sunt reglate pe baza graficelor de reglare conform celor prezentate anterior.

Pompele de circulație din circuitele de încălzire se opresc atunci când se prepară apă caldă în boiler. Cazanul funcționează la 80°C pentru prepararea rapidă a apei calde, după care se oprește pompa boilerului și se repornesc pompele de circulație din circuitele de încălzire.

Schema electrică de automatizare este prezentată în fig. IV.6.8.

6.2.2.7. Reglarea temperaturii agentului termic folosind graficele de reglare, traductor de temperatură ambiantă și reglarea temperaturii apei calde menajere. Circuite directe independente de încălzire și de apă caldă

Sistemul de automatizare al centralei termice funcționează conform celor descrise anterior. Completarea structurii automate constă în utilizarea unei „sonde de temperatură ambiantă" care dispune de un traductor pentru măsurarea temperaturii ambiante (interioare) și de un sistem de prescriere a valorii dorite pentru această temperatură.

Atingerea valorii temperaturii interioare prescrise va determina oprirea pompei de circulație din circuitul de încălzire al spațiului interior prevăzut cu sonda de temperatură ambiantă proprie.

Prepararea apei calde menajere se face prioritar față de încălzire, la două valori diferite ale temperaturii (de exem-

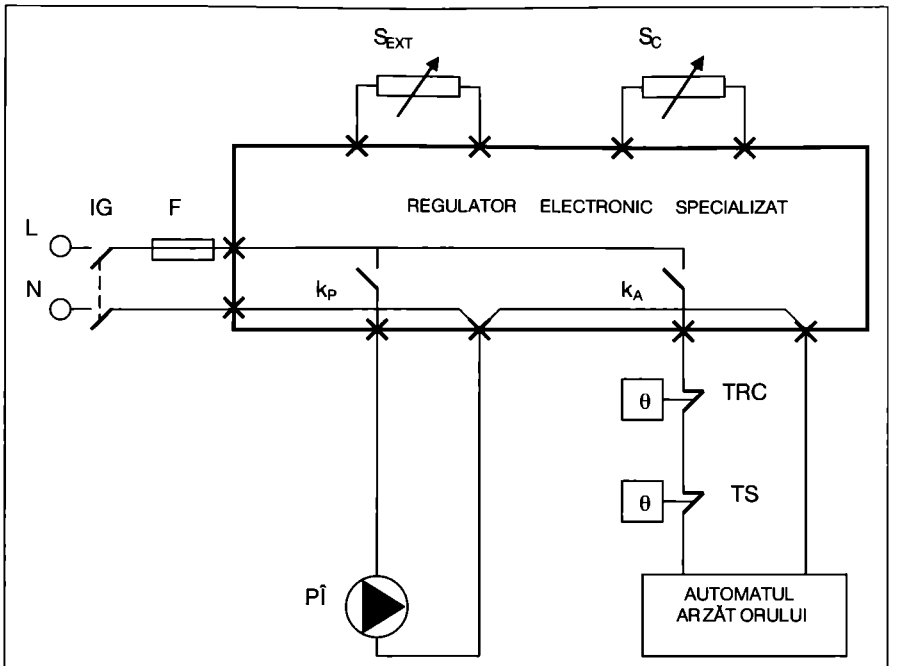


Fig. IV.6.7. Schema pentru reglarea temperaturii agentului termic într-un circuit de încălzire direct folosind graficele de reglare.

IG – întreruptor general, F – siguranță fuzibilă, PÎ – pompă încălzire, TRC – termostat reglare cazan, TS – termostat securitate, S_{EXT} – senzor temperatură exterioară, S_C – senzor temperatură cazan, k_P – contact releu din regulator pentru comanda pompei, k_A – contact releu din regulator pentru comanda arzătorului.

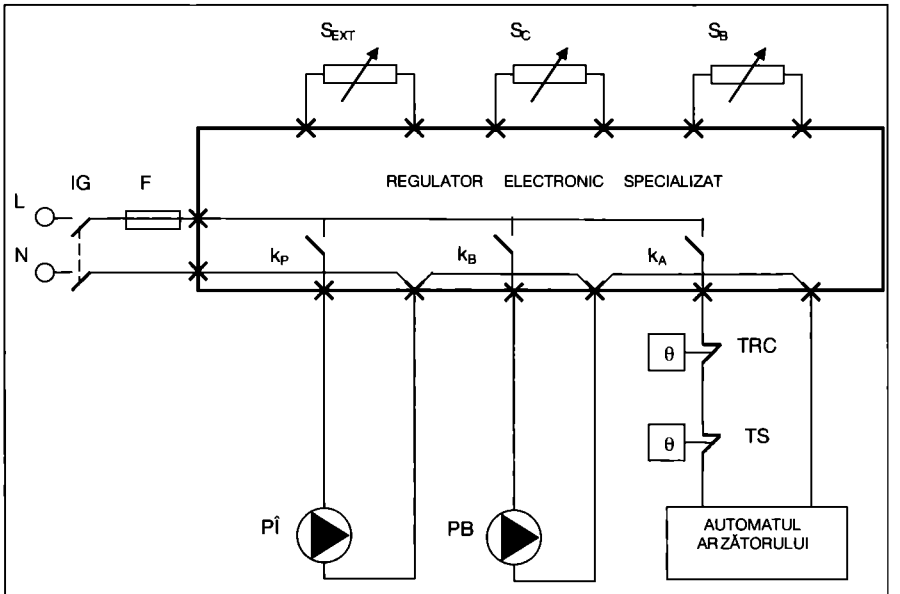


Fig. IV.6.8. Schema pentru reglarea temperaturii agentului termic folosind graficele de reglare și reglarea temperaturii apei calde menajere. Circuite directe independente de încălzire și de apă caldă.

IG – întreruptor general, F – siguranță fuzibilă, PÎ – pompă încălzire, PB – pompă boiler, TRC – termostat reglare cazan, TS – termostat securitate, S_{EXT} – senzor temperatură exterioară, S_C – senzor temperatură cazan, S_B – senzor temperatură boiler, k_P – contact releu din regulator pentru comanda pompei instalației de încălzire, k_B - contact releu din regulator pentru comanda pompei boilerului, k_A – contact releu din regulator pentru comanda arzătorului.

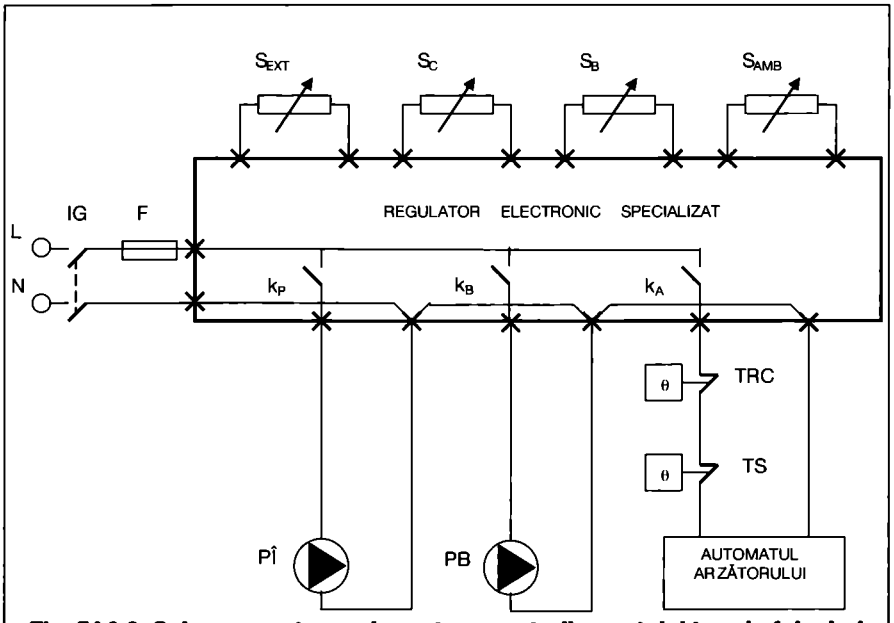


Fig. IV.6.9. Schema pentru reglarea temperaturii agentului termic folosind graficele de reglare, traductor de temperatură ambiantă și reglarea temperaturii apei calde menajere.
Circuite directe independente de încălzire și de apă caldă.

IG – întreruptor general, F – siguranță fuzibilă, PÎ – pompă încălzire, PB – pompă boiler, TRC – termostat reglare cazan, TS – termostat securitate, S_{EXT} – senzor temperatură exterioară, S_C – senzor temperatură cazan, S_B – senzor temperatură boiler, S_{AMB} – senzor temperatură ambiantă, k_P – contact releu din regulator pentru comanda pompei instalației de încălzire, k_B - contact releu din regulator pentru comanda pompei boilerului, k_A – contact releu din regulator pentru comanda arzătorului.

plu 20°C în regim economic și 55°C în regim confort) conform unei programări orare zilnice sau săptămânale.

Dacă există un circuit hidraulic pentru recircularea apei calde menajere, atunci pompa din acest circuit poate porni sau opri conform unui program orar zilnic sau săptămânal.

Schema electrică de automatizare este prezentată în fig. IV.6.9.

6.2.2.8. Reglarea temperaturii agentului termic folosind graficele de reglare și reglarea temperaturii apei calde menajere. Circuite independente de încălzire cu robinete de amestec și circuit direct pentru prepararea apei calde

Circuitele de încălzire sunt prevăzute fiecare cu:
- robinet de reglare cu trei căi;
- pompă de circulație;
- traductor de temperatură montat pe conducta de ducere a circuitului;
- regulator electronic tripozițional pentru comanda robinetului de reglare cu trei căi.

Circuitele de încălzire pot dispune, opțional, de sondă de temperatură ambiantă proprie.

Deoarece fiecare circuit de încălzire are propriul robinet de reglare, atunci

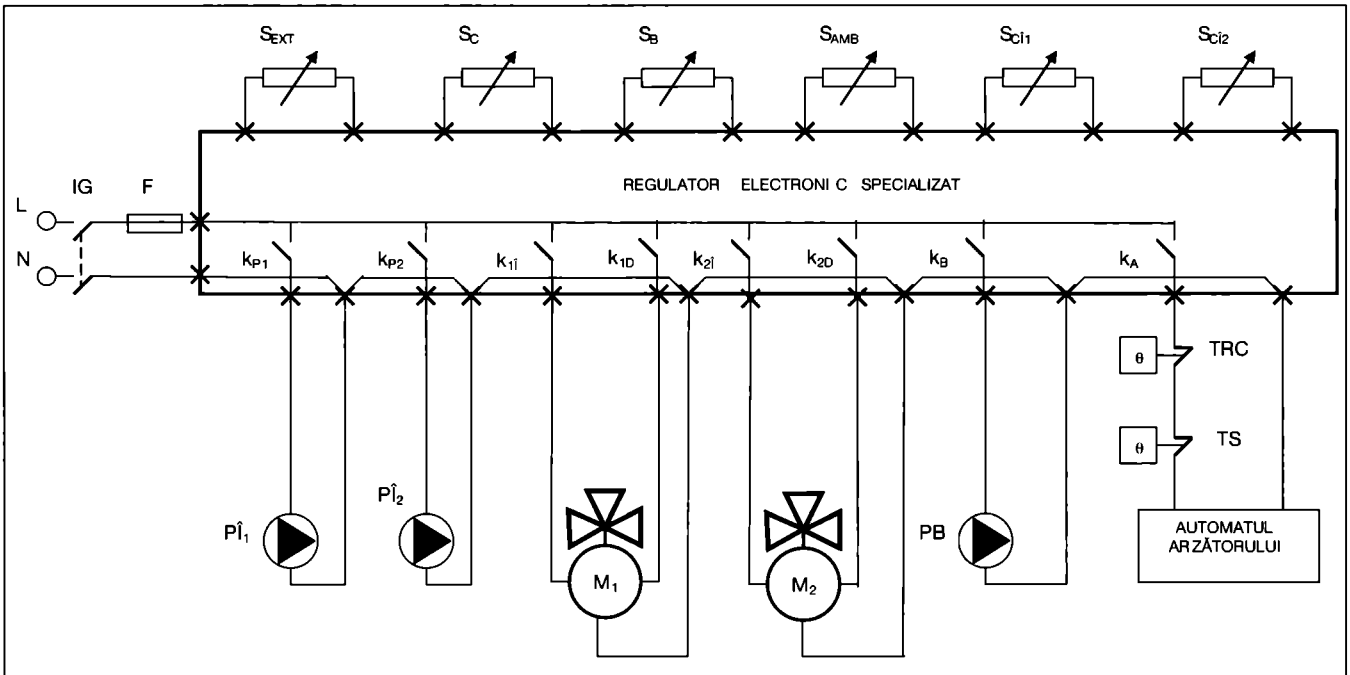


Fig. IV.6.10. Schema pentru reglarea temperaturii agentului termic folosind graficele de reglare și reglarea temperaturii apei calde menajere.
Circuite independente de încălzire cu robinete de amestec și circuit direct pentru prepararea apei calde.

IG – întreruptor general, F – siguranță fuzibilă, PÎ1 – pompă circuit încălzire 1, PÎ2 – pompă circuit încălzire 2, PB – pompă boiler
M1 – servomotorul robinetului de reglare 1, M2 – servomotorul robinetului de reglare 2, TRC – termostat reglare cazan
TS – termostat securitate, S_{EXT} – senzor temperatură exterioară, S_C – senzor temperatură cazan, S_B – senzor temperatură boiler
SAMB – senzor temperatură ambiantă, $SCÎ_1$ – senzor temperatură circuit încălzire 1, SCÎ2 – senzor temperatură circuit încălzire 2
k_{P1} – contact releu din regulator pentru comanda pompei circuitului de încălzire 1, k_{P2} – contact releu din regulator pentru comanda pompei circuitului de încălzire 2, $k_{1Î}$ – contact reglare tripoziționlă pentru închidere robinet reglare 1, k_{1D} - contact reglare tripoziționlă pentru deschidere robinet reglare 1, $k_{2Î}$ – contact reglare tripoziționlă pentru închidere robinet reglare 2, k_{2D} - contact reglare tripoziționlă pentru deschidere robinet reglare 2, k_B - contact releu din regulator pentru comanda pompei boilerului, k_A – contact releu din regulator pentru comanda arzătorului.

se pot regla independent temperaturile agentului termic din fiecare circuit. Se impune, însă, ca temperatura sursei calde (cazanul) să fie superioară celei mai ridicate temperaturi care trebuie atinsă pe un circuit de încălzire.

Circuitele de încălzire pot fi conduse automat după grafice de reglare distincte, alese fiecare conform specificului circuitului de încălzire: radiatoare, ventiloconvectoare, încălzire prin pardoseală, centrală de tratare a aerului, piscină, etc.

Prepararea apei calde menajere la temperatura prescrisă, în raport cu circuitele de încălzire, se face cu prioritate sau fără prioritate.

Schema electrică de automatizare este prezentată în fig. IV.6.10.

6.2.2.9. Conducerea automată a unei centrale termice cu cazane în cascadă, cu trei circuite pentru încălzire și cu un circuit pentru prepararea apei calde menajere

a. Schema tehnologică cu aparatura de automatizare

Soluția adoptată pentru conducerea automată a centralei termice aferente unui imobil de birouri P+5 se prezintă în fig. IV.6.11.

Circuitele hidraulice ale instalației termice reprezintă structura centralei termice și a instalației de încălzire din clădire. Acestea sunt organizate astfel:
- 4 cazane C1, C2, C3, C4, legate în paralel la butelia de egalizare a presiunii BEP;
- circuit independent cu boiler pentru prepararea apei calde menajere (a.c.m.);
- circuit independent pentru încălzire cu corpuri statice (radiatoare), prevăzut cu robinet de reglare cu trei căi;
- 2 circuite directe pentru încălzire cu ventiloconvectoare.

Cazanele funcționează cu condensație, cu combustibil gaz natural și sunt de tip Keston C55. Fiecare cazan poate fi izolat hidraulic de restul instalației termice cu ajutorul robinetelor de izolare cu acționare manuală V1.1 - V1.3; V2.1 - V2.3, V3.1 - V3.3; V4.1 - V4.3.

Circuitele de încălzire sunt racordate la butelia de egalizare a presiunii prin intermediul unui distribuitor – colector.

Clădirea este dotată cu trei circuite de încălzire și unul de preparare a apei calde menajere, astfel:
- circuitul de încălzire cu corpuri statice care asigură încălzirea holurilor, spațiilor comune de acces și grupurilor sanitare; acesta conține ventilele de separare VD1 – VC1 și pompa de circulație PCI1 cu robinetul de separare VP1;
- circuitul de încălzire 1 cu ventiloconvectoare asigură încălzirea secțiunii verticale stânga a clădirii pe toate nivelurile; acesta conține ventilele de separare VD2 – VC2 și pompa de circulație PCI2 cu robinetul de separare VP2;
- circuitul de încălzire 2 cu ventiloconvectoare asigură încălzirea secțiunii verticale dreapta a clădirii pe toate nivelurile; acesta conține ventilele de separare VD3 – VC3 și pompa de circulație PCI3, cu robinetul de separare VP3;
- circuitul independent cu boiler pentru prepararea apei calde menajere (a.c.m.); acesta conține ventilele de separare VD4 – VC4 și pompa de circulație PCI4 cu robinetul de separare VP4; boilerul are capacitatea de 200 litri și conține pe circuitul primar ventilele de separare VA1, VA2.

Vasul de expansiune închis VE preia variațiile de volum ale agentului termic și este racordat la nivelul distribuitorului prin intermediul ventilului de separare VE1.

Umplerea și completarea cu apă rece a instalației se realizează pe circuitul principal retur prin intermediul robinetelor VR1 (VR2). Supravegherea presiunii în instalație se efectuează vizual prin intermediul manometrului P. Presiunea maximă din instalație nu va depăși 3,5 bari.

În vederea funcționării corecte a instalației termice, în schema tehnologică cu aparatura de automatizare s-au mai prevăzut următoarele:
- pe circuitul de ducere al fiecărui cazan se montează clapetele de reținere cu ventilele de separare CR1 – V1.2; CR2 – V2.2; CR3 – V3.2, respectiv CR4 – V4.2;
- pe circuitul de încălzire cu corpuri statice se montează robinetul de reglare cu trei căi VRI1 și clapeta de reținere CRI1 cu robinetul de separare VR1.
- pe circuitul primar al boilerului se montează clapeta de reținere CRI4, intercalată între pompa PCI4 și ventilul de separare VP4.

Pentru a elimina pericolul de explozie în centrala termică se recomandă instalarea unui detector de gaz natural pe tavanul încăperii centralei și montarea unui electroventil pe conducta principală de alimentare cu gaz natural, în exteriorul clădirii.

b. Funcționarea sistemului de automatizare.

În conformitate cu specificul instalației de încălzire din clădire s-a adoptat următoarea strategie de conducere automată:
- Asigurarea optimizării relației confort – consum minim de energie pentru încălzirea holurilor, spațiilor comune de acces și grupurile sanitare se realizează printr-un reglaj calitativ cu ajutorul robinetului de reglare cu trei căi VRI1;
- Asigurarea optimizării relației confort – consum minim de energie pentru spațiile încălzite cu ventiloconvectoare se asigură prin reglare locală folosind buclele de reglare din dotarea acestora, individual, pe spații compartimentate;

Cantitatea de căldură produsă de cazane se adaptează permanent la cerințele circuitelor de încălzire și de preparare apă caldă menajeră. În acest sens se utilizează o strategie de conducere care ține seama de temperatura exterioară pentru reglarea temperaturii agentului de pe conducta de tur general. Cazanele se comandă să funcționeze în cascadă, în concordanță cu parametrii menționați și curbele de reglare prescrise.

Prepararea apei calde menajere în boiler se efectuează prioritar față de circuitele de încălzire.

Sistemul de reglare adoptat conduce la obținerea unui randament maxim al cazanelor, precum și o uzură uniformă a acestora.

Strategia de conducere automată descrisă este asigurată prin intermediul regulatorului pentru cascada de cazane modulante AX 5200 SR-R (regulator master) și regulatorul zonal cu 6 ieșiri digitale AX 5112 ZN (regulator slave).

La intrările regulatoarelor se conectează traductoarele de temperatură TBE (temperatura agentului termic din conducta de ducere principală), TEX (temperatura mediului exterior), TC (temperatura agentului termic din conducta de ducere pentru circuitul de încălzire cu corpuri statice), TV (temperatura agentului termic din conducta de ducere pentru circuitul de încălzire cu ventiloconvectoare) și TB (temperatura a.c.m. preparate în boiler).

Regulatorul master comandă cazanele C1...C4, conform strategiei de funcționare în cascadă și pompa PCI4 a boilerului.

Regulatorul slave comandă elementele de execuție ale circuitelor de încălzire. Pentru circuitul de încălzire cu corpuri statice se comandă pompa PCI1 și robinetul de reglare cu trei căi VRI1, funcție de TC și TV. Pentru circuitele de încălzire cu ventiloconvectoare se comandă pompele PCI1, respectiv PCI3, funcție de TV.

Interfața de comenzi este constituita din releele de comandă și siguranța de protecție. Acestea sunt necesare pentru comanda dată de regulatoare către motoarele pompelor.

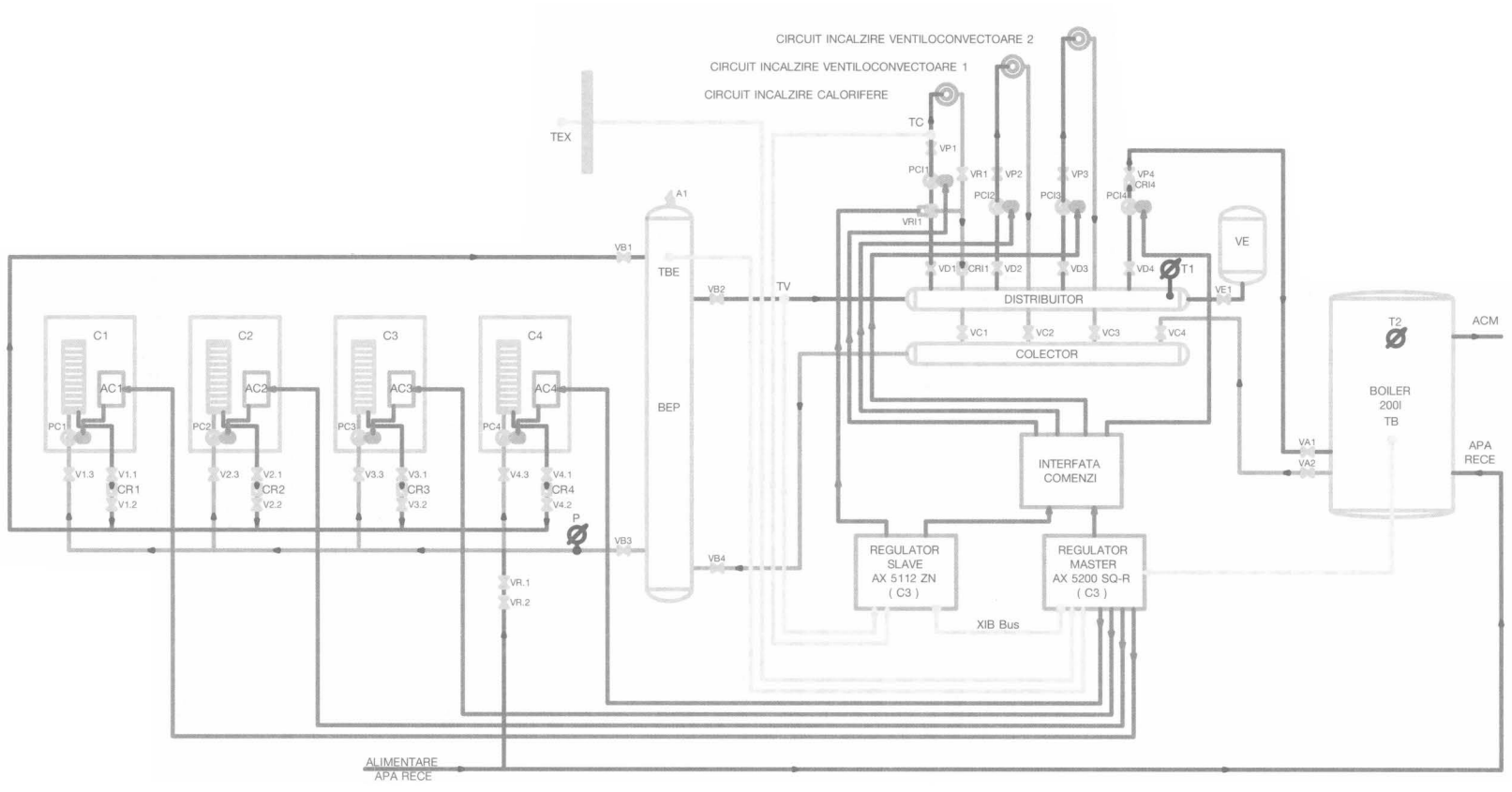


Fig. IV.6.11. Schema tehnologică cu aparatura de automatizare pentru o centrală termică cu cazane în cascadă.

INSTALATIE TERMICĂ

C1...C4 - CAZANE CU CONDENSAȚIE TIP KESTON, CR1...CR4 - CLAPETE DE REȚINERE, PC1...PC4 - POMPELE DE CIRCULATIE DIN CAZANE; CRI1 V I.J - ROBINETE, BEP - BUTELIE, EGALIZARE PRESIUNE, VE - VAS DE EXPANSIUNE INCHIS, PCI1...PCI4 - POMPELE DE CIRCULAȚIE ÎNCĂLZIRE

INSTALAȚIE DE AUTOMATIZARE

TEX- SENZOR DE TEMPERATURĂ EXTERIOARA, TV - SENZOR DE TEMPERATURĂ PENTRU CIRCUITELE VENTILOCONVECTOARELOR, TC - SENZOR DE TEMPERATURĂ PENTRU CIRCUITUL CORPURILOR STATICE DE ÎNCĂLZIRE, TB - SENZOR DE TEMPERATURĂ BOILER, TBE - SENZOR DE TEMPERATURA TUR GENERAL, AC1...AC4 - BLOC DE AUTOMATIZARE PROPRIU CAZANELOR CU CONDENSATIE TIP KESTON, T - TERMOMETRU, M - MANOMETRU.

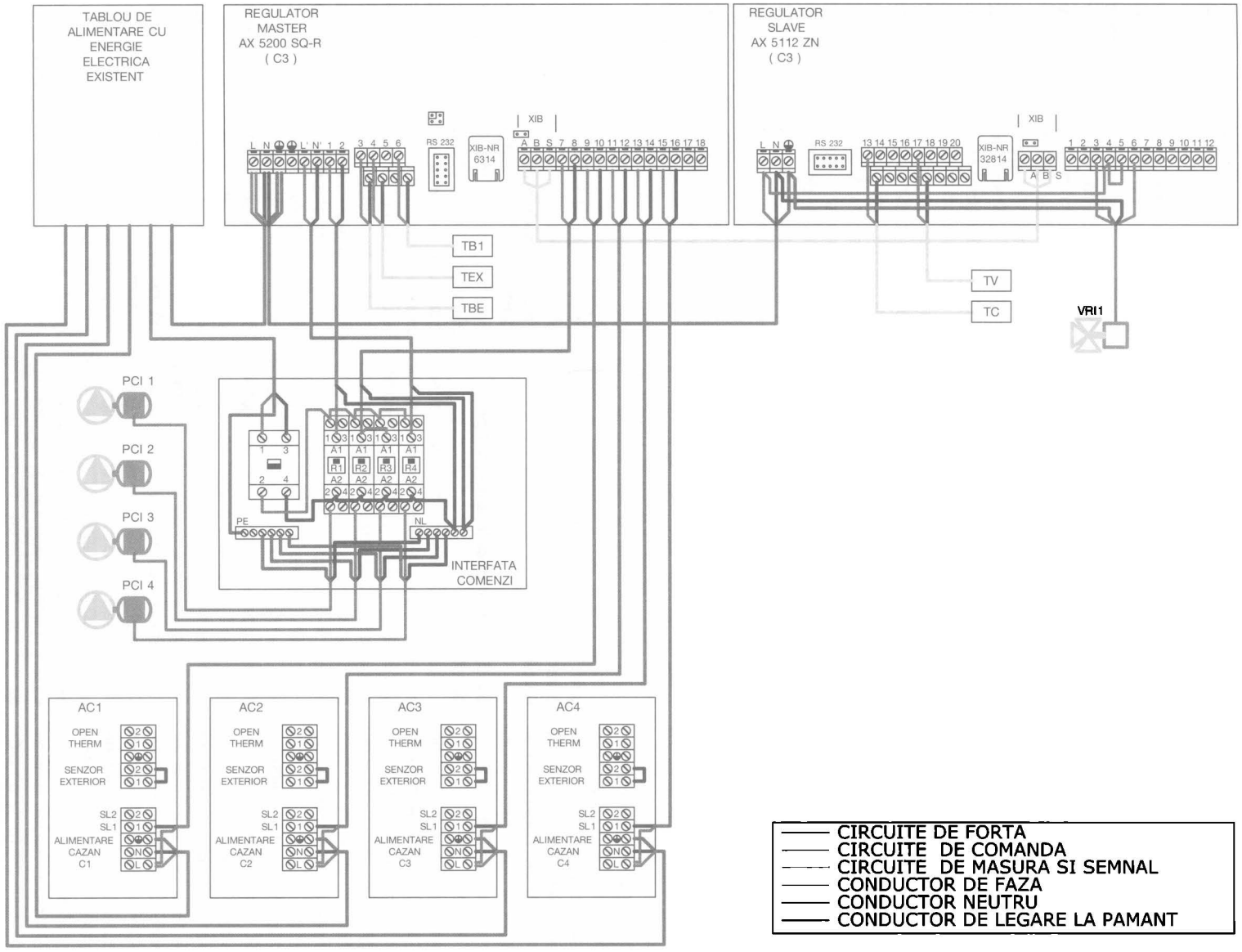


Fig. IV.6.12. Schema electrică de comandă automată.

TEX- SENZOR DE TEMPERATURĂ EXTERIOARĂ, TV - SENZOR DE TEMPERATURĂ PENTRU CIRCUITELE VENTILOCONVECTOARELOR, TC - SENZOR DE TEMPERATURĂ PENTRU CIRCUITUL CORPURILOR STATICE DE ÎNCĂLZIRE, TB - SENZOR DE TEMPERATURĂ BOILER, TBE - SENZOR DE TEMPERATURĂ TUR GENERAL, AC1...AC4 - BLOC DE AUTOMATIZARE PROPRIU CAZANELOR CU CONDENSAȚIE TIP KESTON.

c. Schema electrică de comandă automată (fig. IV.6.12)

Circuite de forță

Instalațiile de alimentare cu energie electrică se prevăd din tabloul electric existent al centralei termice. Tot aici se alimentează regulatoarele și interfața de comenzi.

Regulatoarele și interfața de comenzi sunt poziționate grupate în același loc, lângă regulatorul master AX 5200 SQ-R.

Circuite de comandă

Circuitele de comandă se referă la motoarele pompelor PCI1...PCI4, robinetului de reglare VRI1 și comenzile cazanelor AC1...AC4. Cablarea se face pe traseu comun cu circuitele de forță.

Circuitele de măsură și semnal

Circuitele de măsură și semnal se referă la traductoarele de temperatură din sistem. Cablarea circuitelor de măsură și semnal se face cu cabluri flexibile din cupru, montate aparent în canale de cabluri din PVC cu capace. Traseele acestor circuite sunt separate de traseele de forță. În cazul în care traseul acestor circuite este paralel cu celelalte trasee, atunci ele se montează la o distanță minimă de 0,3 m între ele.

6.2.3. Automatizarea instalațiilor de încălzire centrală de tip individual

Sistemul de conducere automată a instalațiilor de încălzire de tip individual este capabil să asigure alimentarea rațională și eficientă cu căldură a clădirii, adică o calitate superioară a serviciilor (încălzire și apă caldă) cu un consum de energie termică cât mai scăzut.

Se prezintă principalele modalități de automatizare a funcționării unei instalații de încălzire centrală individuală.

Instalația de încălzire, din punctul de vedere constructiv, consideram că este formată din trei componente principale:
- centrala termică,
- instalația de încălzire propriu-zisă;
- instalația de preparare și de alimentare cu apă caldă.

Echipamentele de automatizare au rolul conducerii automate a întregii instalații de încălzire. În general, structura sistemului automat se alege corespunzător particularităților instalației de încălzire adoptate și depinde de o serie întreagă de factori cum ar fi:
- tipul cazanului utilizat (cazan amplasat pe perete, cazan din fontă amplasat pe sol, cazan cu arzător atmosferic cu tiraj natural sau cu tiraj forțat, cazan cu arzător cu aer suflat, cazan cu arzător cu o singură treaptă, cazan cu arzător cu două trepte, cazan cu arzător cu flacără modulată, etc.);
- tipul combustibilului utilizat de arzător (gaz natural, propan, butan, combustibil lichid);
- numărul cazanelor utilizate (un singur cazan, două, trei sau mai multe cazane care funcționează în cascadă);
- numărul și tipul circuitelor independente de încălzire (preparare apă caldă menajeră instantaneu sau cu acumulare, încălzire cu corpuri statice, încălzire cu ventiloconvectoare, încălzire prin pardoseală, încălzire piscină, circuite de încălzire directe sau cu robinete de reglare cu trei căi, etc.);
- exigențele în asigurarea confortului termic și efectuarea economiei de energie (tablouri de automatizare care asigură funcții minime obligatorii și tablouri de automatizare electronice complexe prevăzute cu posibilități de programare a parametrilor de funcționare ai sistemului, programare orară zilnică și săptămânală a regimurilor confort / economic și protecție împotriva înghețării agentului termic, cu regulatoare numerice, cu logică de comandă a pompelor, cu posibilități de comunicare cu alte echipamente inteligente de automatizare, etc.);
- posibilitatea de integrare a instalației de încălzire în sisteme de gestiune tehnică a clădirilor.

Instalația de încălzire analizată în continuare poate fi utilizată pentru încălzirea unui apartament sau a unei vile. În aceste condiții cazanul și instalația de încălzire propriu-zisă pot avea caracteristicile care se prezintă în continuare.

6.2.3.1. Cazanul este amplasat pe perete

Cazanul poate fi cu tiraj natural sau cu tiraj forțat. Această variantă se alege acolo unde spațiul nu permite amplasarea unui cazan pe sol și atunci când beneficiarul dorește o investiție minimă în instalația de încălzire.

Arzătorul poate funcționa cu gaz natural, propan sau cu butan și puterea flăcării poate fi modulată cu ajutorul unui ventil electromagnetic.

Echipamentul de automatizare poate controla un circuit de încălzire direct, iar temperatura interioară se măsoară și se reglează prin intermediul termostatului sau al cronotermostatului de cameră. Acest aparat de automatizare este recomandat a fi utilizat la acest cazan pentru asigurarea confortului termic și reducerea consumului de combustibil.

Prepararea apei calde menajere se face în regim instantaneu cu un debit de cca. 11÷14 l/min., creșterea temperaturii apei calde menajere fiind de cca. 35°C față de temperatura apei reci din rețeaua de alimentare (fig. IV.6.13.).

Cazanul poate funcționa în regim de încălzire sau de preparare a apei calde menajere, folosind o singură pompă de circulație pentru agentul termic. Comutarea între cele două regimuri de funcționare se face automat prin acționarea clapetei de inversare încălzire/a.c.m. (C.I.). Aceasta dirijează agentul termic din cazan spre corpurile de încălzire sau spre schimbătorul de căldură al a.c.m..

Prepararea apei calde menajere este prioritară față de circuitul de încălzire. Atunci când se solicită de către consumator apă caldă, unitatea centrală de automatizare primește un semnal electric de la traductorul de debit al a.c.m. și comandă clapeta de inversare încălzire/a.c.m; se închide circuitul corpurilor de încălzire și pompa alimentează circuitul primar al schimbătorului de căldură pentru prepararea apei calde. Se comandă de asemenea și o putere a arzătorului adaptată acestui regim de funcționare. După ce consumul de apă caldă încetează, se închide circuitul schimbătorului de căldură pentru prepararea apei calde și se deschide circuitul de încălzire, urmărindu-se realizarea temperaturii impuse pentru temperatura agentului termic, conform graficului de reglaj termic calitativ.

Sistemul de reglare automată existent în cazan asigură menținerea constantă a temperaturii agentului termic la ieșirea din cazan prin închiderea sau deschiderea alimentării cu combustibil a arzătorului sau, în cazul cazanelor cu flacără modulantă, prin modularea debitului de combustibil. Această temperatură este un indicator de reglare a alimentarii cu combustibil a arzătorului cazanului. Valoarea temperaturii se stabilește fie manual cu ajutorul termostatului de cazan, fie automat prin intermediul traductorului de temperatură exterioară și al curbei de reglare alese.

În varianta stabilirii automate, temperatura agentului termic la ieșirea din cazan este obținută cu ajutorul curbei de reglare alese, funcție de temperatura exterioară. În general, cazanele au această funcție de automatizare disponibilă opțional. Se alege o anumită curbă de reglaj termic calitativ, potrivită ansamblului construcție-instalație de încălzire. Astfel, o curba de reglaj termic bine setată reflectă aprecierea corectă a corelației dintre necesarul de căldură al construcției, mărimea suprafeței de încălzire și parametrii agentului termic (temperatură și debit).

O altă categorie de reglaje se face prin intermediul termostatului de interior. Prin intermediul lui se menține o temperatura cvasiconstantă într-una din încăperile imobilului încălzit. Dacă temperatura interioară măsurată este

diferită de temperatura interioară setată, atunci unitatea centrală de automatizare comandă întreruperea alimentării cu combustibil a arzătorului sau pornirea alimentării după cum temperatura interioară măsurată este mai mare sau mai mică decât temperatura interioară impusă la termostatul de interior. Tot unitatea centrală de automatizare controlează și activitatea pompei de circulație a agentului termic prin instalație, care este în corelație cu comenzile date asupra alimentării cu combustibil a arzătorului cazanului.

Cazanele cu condensație dispun de modularea flăcării, adică debitul de combustibil la arzătorul cazanului poate fi modificat aproximativ continuu. La cele mai multe tipuri de centrale termice debitul de combustibil poate fi modificat pe două trepte.

Termostatul de interior poate fi și un cronotermostat, adică un termostat care permite setarea temperaturii interioare la diferite momente ale zilelor săptămânii.

O soluție mai elastică din punctul de vedere al reglării este soluția cu robinete termostatice plasate pe fiecare corp de încălzire. Fiecare din robinetele termostatice poate fi setat individual pe temperatura interioară dorită. Realizarea temperaturi interioare se face prin reglarea debitului de agent termic. Fluctuațiile diurne climatice sau de aporturi interioare de căldură induc prin intermediul robinetelor termostatice fluctuații ale debitului total de agent termic. Scăderile debitului de agent termic conduce la atingerea temperaturii setate a agentului termic la ieșirea din cazan, ceea ce atrage după caz:
- diminuarea debitului de combustibil la arzătorul cazanului;
- trecerea de la treapta superioară la cea inferioară;
- oprirea arzătorului.

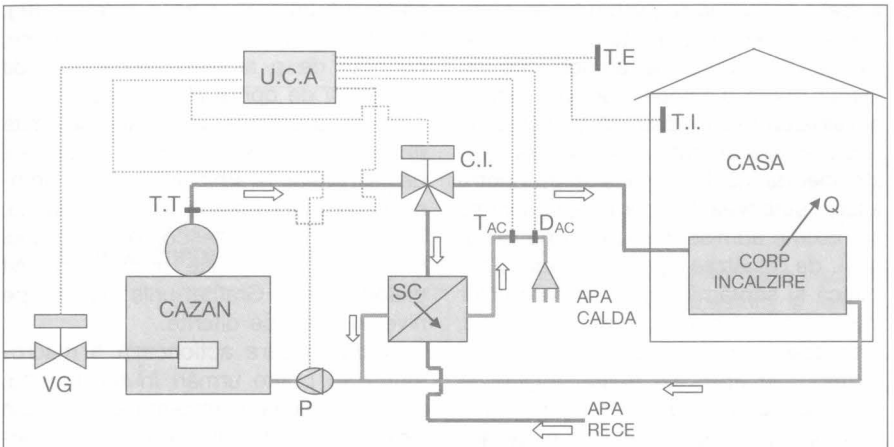


Fig. IV.6.13. Instalație individuală de încălzire cu preparare instantanee de a.c.m.

S.C. – schimbător de căldură instantaneu, U.C.A. – unitatea centrală de automatizare, V.G. – vană alimentare combustibil (gaz), C.I. – clapetă inversare (încălzire / a.c.m.), P – pompă agent termic, T.T. – traductor de temperatură agent termic (alimentare generală), TAC – traductor de temperatură apă caldă menajeră, T.I. – traductor de temperatură interioară, T.E. – traductor de temperatură exterioară, DAC – traductor de debit apă caldă.

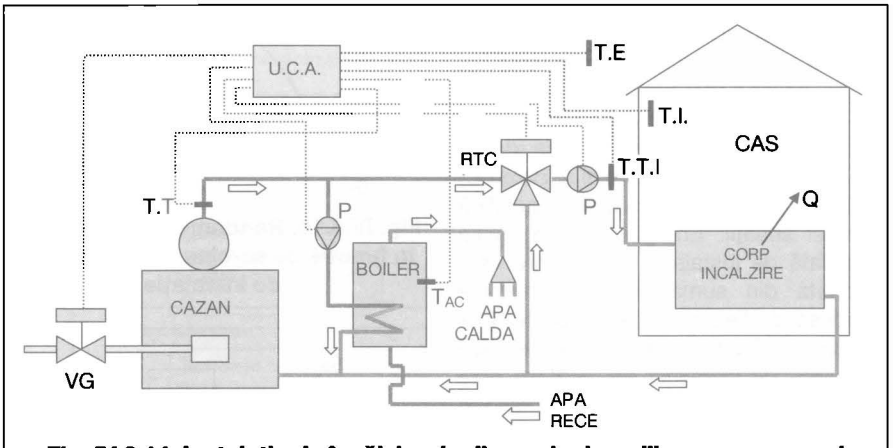


Fig. IV.6.14. Instalație de încălzire de dimensiuni medii, cu preparare și acumulare de a.c.m.

U.C.A. – unitatea centrală de automatizare, V.G. – vană alimentare combustibil (gaz), R.T.C. – robinet de reglare cu trei căi, P – pompă agent termic, T.T. –traductor de temperatură agent termic (alimentare generală), T.T.I. – traductor de temperatură agent termic alimentare încălzire, TAC – traductor de temperatură apă caldă consum T.I. – traductor de temperatură interioară, T.E. – traductor de temperatură exterioară, DAC – traductor de debit apă caldă.

6.2.3.2. Cazanul este amplasat pe sol

Cazanul se amplasează într-un loc special amenajat și arzătorul poate fi atmosferic (cu tiraj natural sau cu tiraj forțat) sau cu aer suflat. Poate dispune de o singură treaptă de putere, de două trepte de putere și de modulația puterii flăcării. Combustibilul poate fi gazul natural, propanul sau butanul. Un arzător cu aer suflat poate utiliza și combustibilul lichid.

Echipamentele de automatizare pot atinge aici niveluri ridicate de complexitate, asigurând conducerea arzătorului, conducerea mai multor circuite de încălzire independente și conducerea circuitului de preparare al apei calde menajere în boiler. Prepararea apei calde de menajere se poate face cu prioritate sau fără prioritate și se poate activa funcția „antilegionela". Prepararea cu acumulare în boiler se poate face la temperatura dorită de utilizator, fixată de la tabloul de automatizare sau cu ajutorul termostatului de boiler.

Schemele hidraulice ale instalației de încălzire cu aparatura de automatizare pot avea o multitudine de structuri. Pornind de la cerințele beneficiarului, alegerea soluției optime trebuie făcută numai împreună de către inginerii de instalații termiști cu inginerii de instalații automatiști.

Schema cea mai simplă poate fi atunci când instalația are un singur circuit de încălzire direct (fără robinet de reglare cu trei căi) și circuitul de boiler. Urmează apoi schema obținută prin introducerea robinetului de reglare cu trei căi pe circuitul de încălzire (fig. IV.6.14.).

Dacă se prevăd mai multe circuite de încălzire independente atunci se poate utiliza butelia de amestec și câte un robinet de reglare cu trei căi pe fiecare circuit.

Echipamentul de conducere automată trebuie ales și configurat corespunzător schemei hidraulice adoptate. De asemenea, programarea echipamentului trebuie să fie făcută corespunzător schemei adoptate și scopului propus. Prepararea apei calde se programează după caz a fi prioritară față de încălzire sau simultană cu încălzirea. În cazul construcțiilor mici avem un circuit de încălzire și un circuit pentru boiler. Circuitele funcționează automat independent cu prioritate pentru prepararea apei calde menajere.

În general schema hidraulică a instalației de încălzire cu aparatura de automatizare cuprinde următoarele elemente de automatizare: tabloul electronic central, automatul arzătorului, pompele de circulație pentru încălzire și pentru boiler, pompa de recirculație pentru apa caldă menajeră, robinetul de reglare cu trei căi pentru circuitul de încălzire, traductoarele pentru măsurarea temperaturii (din cazan, de pe circuitul de încălzire după robinetul de reglare cu trei căi, din boiler, temperatura exterioară, temperatura interioară din locuință), sesizorul de curgere a agentului termic prin cazan, presostatul pentru sesizarea atingerii presiunii minime în circuitul hidraulic, termostatul de securitate al cazanului.

Funcționarea sistemului automat ține seama de temperaturile dorite în locuință și în boiler. Tabloul electronic comandă pornirile și opririle arzătorului, în timp ce derularea secvențelor obligatorii pentru arzător sunt controlate de automatul propriu al arzătorului.

a. Prepararea apei calde menajere

Prepararea apei calde din boiler, în varianta în care aceasta este prioritară față de încălzire, se realizează prin oprirea pompei de circulație a încălzirii, pornirea pompei boilerului și menținerea temperaturii la 80°C în cazan până ce în boiler se atinge temperatura impusă (recomandată la 55°C). Pornirile și opririle arzătorului sunt comandate de regulatorul bipoziționat destinat preparării apei calde menajere.

În cazul variantei în care prepararea apei calde se face simultan cu încălzirea atunci rezultă de regulă capacități superioare ale sursei de alimentare cu căldură.

b. Reglarea temperaturii interioare din locuință

Pompa de circulație pentru încălzire funcționează și pompa boilerului este oprită. Arzătorul pornește și oprește sub comanda regulatorului bipoziționat al cazanului, menținând temperatura în cazan la o valoare cerută de atingerea randamentului maxim al acestuia (superioară celei necesare în circuitul de încălzire).

Un regulator tripoziționat comandă servomotorul robinetului de reglare cu trei căi, ținând seama de temperatura măsurată pe circuitul de încălzire după robinetul de reglare și pompa de circulație. Această temperatură trebuie să fie menținută la valoarea impusă prin graficul de reglare al clădirii în funcție de temperatura exterioară. Panta graficului de reglare se alege prin programare de la tabloul electronic. Valoarea temperaturii de referință a regulatorului tripoziționat rezultă din graficul de reglare și se modifică corespunzător temperaturii exterioare, care reprezintă perturbația principală pentru structura de reglare tripozițională.

Reglarea temperaturii agentului termic prin intermediul robinetului cu trei căi se face în cadrul instalațiilor mai mari, în care alimentarea circuitului de încălzire se face concomitent cu alimentarea cu apă caldă a consumatorului. Cazanul prepară agent termic conform graficului de reglaj termic (cu porțiunea de frângere) iar pe circuitul de încălzire se corectează temperatura agentului termic conform graficului de reglaj termic propriu încălzirii.

Reglarea temperaturii interioare din locuință folosește structura de reglare combinată. Aceasta întrunește avantajele reglării clasice după abatere (eroare staționară nulă) și a reglării după perturbație (acțiunea regulatorului de compensare a efectului perturbației are loc înainte de apariția unei abateri între valoarea dorită a temperaturii din clădire și valoarea reală măsurată a acesteia).

Sistemul automat de conducere a instalației de încălzire mai asigură printre altele: stabilirea temperaturilor minime și maxime admise în cazan și pe circuitele de încălzire, programarea orară zilnică și săptămânală a temperaturilor interioare în regim confort / economic, protecție împotriva înghețării agentului termic și a apei din boiler, logica de comandă a pompelor, comportările la întreruperea tensiunii electrice de alimentare, la întreruperea alimentării cu combustibil, la scăderea presiunii din instalație, la supratemperatură.

6.2.4. Analiza sistemului automat de conducere a cazanelor în cascadă

Încălzirea clădirilor și prepararea apei calde pentru consum menajer se poate asigura cu un singur cazan sau cu 2...10 cazane identice legate în cascadă. Termenul "cascadă" se referă la un număr corespunzător de cazane identice legate hidraulic în paralel și care beneficiază de o automatizare specifică acestei situații. Energia termică totală solicitată de instalația de încălzire este obținută din suma energiilor termice produse de fiecare cazan în parte. Deoarece cantitatea de energie termică solicitată de instalația de încălzire este variabilă pe durata unei zile, de la o zi la alta și de la un anotimp la altul, automatizarea specifică acestui caz va determina pornirea la un moment dat a unui singur cazan sau a mai multor cazane. Puterea arzătoarelor va fi controlată prin numărul de trepte în funcțiune sau prin sistemul de modulare a flăcării.

Randamentul η al unui cazan se diminuează rapid cu sarcina termică cerută de instalația de încălzire (fig. IV.6.15) și devine nesatisfăcător pentru o funcționare la sarcină redusă. De aceea, este preferabilă instalarea mai multor cazane de putere medie, decât un singur cazan de putere mare, pentru ameliorarea bilanțului energetic al centralei termice.

a. Descrierea funcțională prin metoda Grafcet a automatului pentru conducerea cascadei

Având în vedere complexitatea conducerii unor cazane în cascadă, se utilizează descrierea funcțională cu ajutorul metodei Grafcet, specifică automatizărilor industriale. Se folosesc două Grafcet-uri structurate ierarhic, unul la nivelul superior (fig. IV.6.17) denumit Grafcet de supraveghere, cu rolul de a autoriza sau a bloca funcționarea cascadei și unul la nivelul inferior (fig. IV.6.18) denumit Grafcet de conducere, cu rolul de a asigura procedurile de pornire și de oprire ale cascadei.

Pentru a permite unei etape să emită un ordin de execuție către Grafcet-ul de la nivelul ierarhic inferior, se folosește o macro-etapă. Macro-etapele, în general, permit descompunerea unui Grafcet în mai multe părți, și permit dialogul între Grafcet-urile situate pe niveluri ierarhice diferite.

Modul în care acționează o macro-etapă se poate urmări în fig. IV.6.16, unde activarea macro-etapei M1, din Grafcet-ul de pe nivelul ierarhic superior, conduce prin salt la activarea etapei de intrare I1 din Grafcet-ul subordonat.

După parcurgerea etapelor acestui

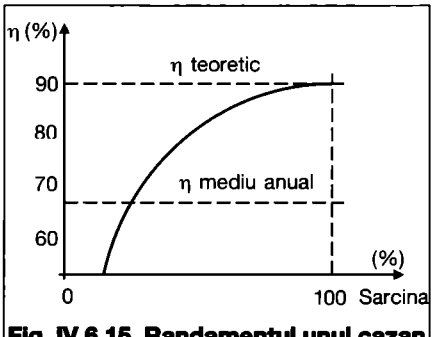


Fig. IV.6.15. Randamentul unui cazan în funcție de sarcina termică cerută de instalație

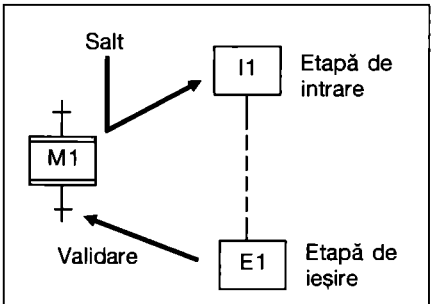


Fig. IV.6.16. Macro-etapă în Grafcet

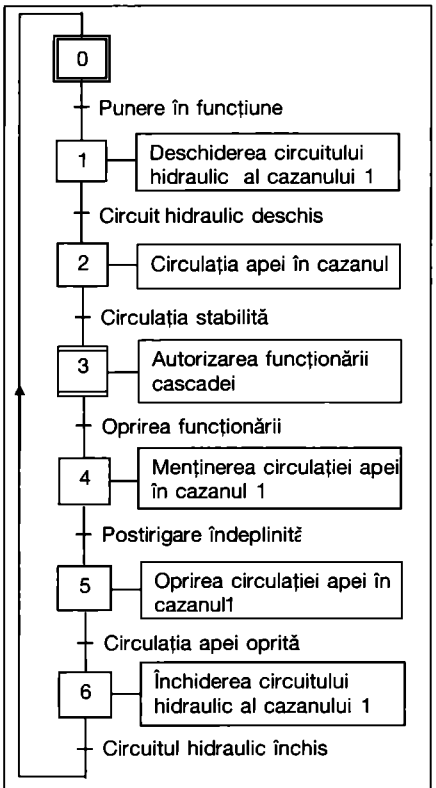


Fig. IV.6.17. Grafcet de supraveghere cu macro-etapă.

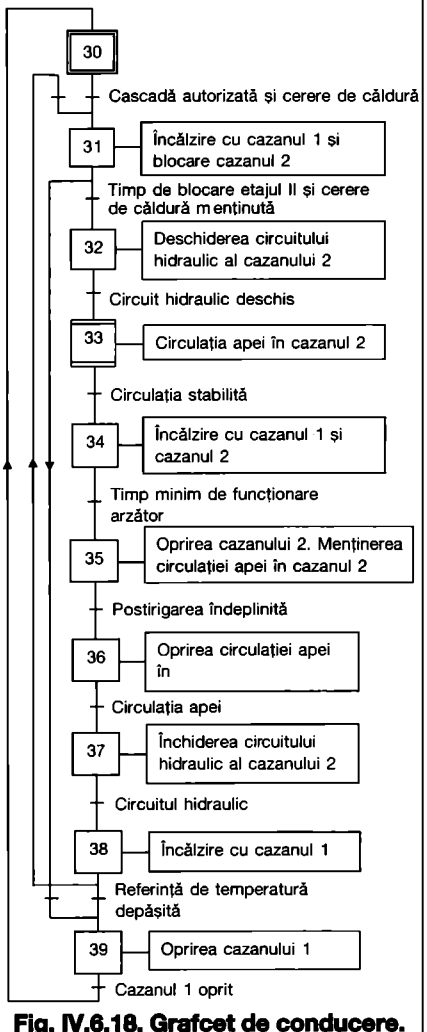


Fig. IV.6.18. Grafcet de conducere.

Grafcet se revine în Grafcet-ul principal, unde tranziția din aval de macro-etapă este validată prin activarea etapei de ieșire E1 din Grafcet-ul subordonat.

b. Grafcet de supraveghere a cascadei (nivelul superior)

Acest grafcet asigură punerea în funcțiune a cascadei. Etapa 0 este etapă activă inițial, iar etapa 3 este macro-etapă.

c. Grafcet de conducere a cascadei (nivelul inferior)

Are rolul de asigurare a funcționării normale a cascadei atunci când Grafcet-ul de la nivelul ierarhic superior o cere. Acest Grafcet asigură temperatura impusă în conducta de tur prin pornirea și oprirea corespunzătoare a etajelor cascadei.

d. Concluzii

Funcționarea cazanelor în cascadă se poate caracteriza prin:
- un randament mai bun al instalației de încălzire;
- dispune de un anumit grad de rezervare care permite furnizarea căldurii la parametri nominali sau diminuați chiar atunci când un cazan este defect;
- asigură o uzură uniformă a cazanelor prin permutarea acestora la intervale de timp prestabilite.

Un cazan al cascadei care nu funcționează trebuie să fie izolat hidraulic, pentru a nu se comporta ca un consumator de energie termică și să nu conducă la pierderi de energie in sistem.

Automatizarea cascadei reglează temperatura θ_k din conducta comună de tur, temperatură care se măsoară cu un traductor ce trebuie irigat permanent prin circulația apei.

La oprirea unui cazan, trebuie menținută un timp circulația apei în corpurile de încălzire după oprirea arzătorului, pentru evitarea supraîncălzirii cazanului care poate duce la acționarea termostatului de protecție la supratemperatură.

Cascada se recomandă a fi utilizată pentru instalațiile de încălzire ale clădirilor mari și cu destinație specială, cum ar fi: școli, spitale, hoteluri, bănci, centre comerciale, etc.

6.3. Automatizarea instalațiilor solare

6.3.1. Generalități

Instalațiile termice din clădiri pot funcționa cu energie obținută de la diferite surse de căldură:
- cazane care funcționează pe diferite tipuri de combustibil sau cazane electrice;
- captatoare solare;
- combinat de la cazane și de la captatoare solare.

O schemă de principiu care arată cum se prepară apa caldă menajeră folosind instalația solară se prezintă în fig. IV.6.19.

Preluarea energiei termice de la captatoarele solare și / sau de la cazan, se asigură prin automatizarea corespunzătoare a instalațiilor. Rezultă că vom avea două tipuri de echipamente de automatizare:
- pentru instalația solară;
- pentru cazan.

Cele două tipuri de echipamente de automatizare trebuie să funcționeze împreună, cuplate funcțional prin procesele termice din instalație, dar separate din punctul de vedere al semnalelor electrice purtătoare de informații măsurate sau de comandă.

Echipamentul principal de automatizare al instalației solare este un echi-

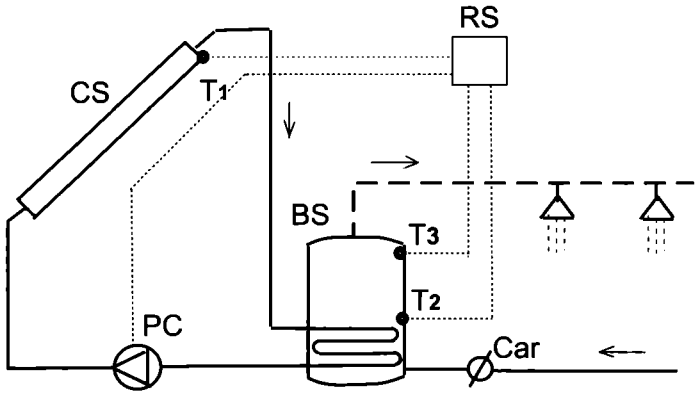


Fig. IV.6.19. Schema de principiu a unei instalații solare de preparare a apei calde menajere

CS – captator solar; BS – boiler solar; PC – pompă de circulație; RS – regulator solar; Car – contor de apă rece menajeră; T_1 – senzor de temperatură pentru captatorul solar; T_2 – senzor de temperatură pentru apa din partea inferioară a boilerului; T_3 – senzor de temperatură pentru apa din partea superioară a boilerului.

pament complex, denumit în continuare regulator solar.

La intrările regulatorului solar se conectează traductoare (senzori) pentru măsurarea temperaturilor:
- din captatoarele solare;
- apei calde din partea inferioară a boilerului;
- apei calde din partea superioară a boilerului.

Ieşirile regulatorului solar comandă electric elementele de execuție prin intermediul cărora conduce procesul:
- pompe de circulație;
- robinete de reglare cu trei căi.

Regulatorul solar reglează temperatura apei din boiler acționând asupra pompei de circulație din circuitul primar, contorizează energia termică acumulată în boiler, comandă pompa de recirculare a.c.m., maximizează cantitatea de energie acumulată în boilere funcție de valorile temperaturilor din captatorul solar şi din boilere, etc.

În instalațiile solare, regulatoarele pot conduce instalațiile termice astfel încât să funcționeze în următoarele regimuri:
- preparare a.c.m. numai cu energia captată de la soare;
- preparare a.c.m. cu energia produsă de cazan, sau de un încălzitor electric, susținut de energia captată de la soare.

6.3.2. Instalații solare la care necesarul de căldură este acoperit integral de la soare

În acest caz parametrii a.c.m. depind de condițiile meteorologice, deoarece nu se utilizează o altă sursă de căldură clasică pentru perioadele din an în care energia solară nu este suficientă.

Boilerul care prepară a.c.m. este un boiler clasic cu o singură serpentină. Volumul acestui boiler va fi mărit conform specificului funcționării instalațiilor solare: se acumulează cât mai multă energie termică în boiler atunci când soarele poate să o ofere şi se consumă apa caldă atunci când este necesară.

6.3.2.1. Prepararea a.c.m. cu un câmp de captatoare solare şi un boiler solar

a) fără recircularea a.c.m. (fig. IV.6.19)

Reglarea temperaturii în boiler se obține prin pornirea / oprirea pompei, sau prin reglarea turației motorului electric al pompei, atunci când senzorul de temperatură T1 detectează faptul că temperatura captatorului este mai mare decât temperatura apei de deasupra serpentinei din boiler T2.

Apa din boilerul solar este încălzită până la valoarea prescrisă a temperaturii acesteia, care de obicei are valoarea de 60°C. Când senzorul de temperatură T3 detectează o temperatură mai mare de 60 °C, comandă oprirea pompei.

Pompa pornește automat atunci când temperatura a.c.m. din boiler scade sub valoarea impusă de 40°C.

Regulatorul solar controlează diferența dintre temperaturile măsurate de T1 şi T2 , în scopul împiedicării pornirilor şi opririlor frecvente ale pompei. Regulatorul oprește pompa dacă temperatura măsurată de T1 depăşește valoarea de 65°C. Pompa repornește atunci când temperatura măsurată de T1 scade sub 65°C şi dacă temperatura măsurată de T2 este sub 40°C.

b) cu recircularea a.c.m. (fig. IV.6.20)

Funcționarea instalației este asemănătoare cu cea prezentată la punctul a) cu singura completare că aici pompa pentru recircularea a.c.m. este comandată de regulatorul solar în perioadele de timp programate, respectiv când temperatura din conducta de distribuție a apei calde menajere coboară sub valoarea de 35 °C

6.3.2.2. Prepararea a.c.m. cu un câmp de captatoare solare şi două boilere

a) folosind robinet de reglare cu trei căi (fig. IV.6.21)

Apa caldă menajeră se prepară în două boilere solare, folosind un singur câmp de captatoare solare. Temperaturile apei din boilere depind de consumul de a.c.m. Pentru aducerea şi menținerea temperaturii apei în fiecare boiler la valoarea prescrisă, regulatorul solar va comanda servomotorul M al robinetului de reglare cu trei căi.

Schema oferă posibilitatea contorizării energiei termice captate şi stocate în

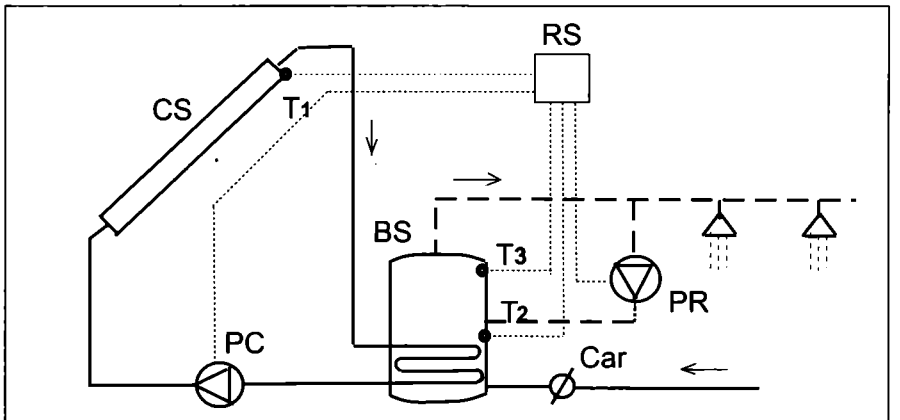


Fig. IV.6.20. Instalație solară de preparare a a.c.m. cu recircularea a.c.m.
PR – pompă de recirculare a apei calde menajere; celalalte notații au semnificația din fig. IV.6.19.

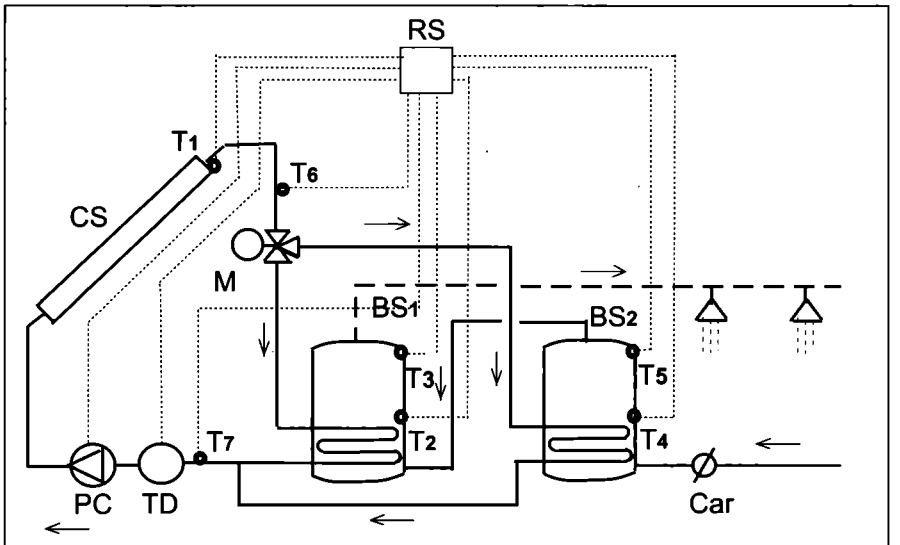


Fig. IV.6.21. Instalație solară de preparare a apei calde menajere cu 2 boilere de acumulare a apei calde şi cu robinet de reglare cu trei căi:
BS_1 – boiler solare 1; BS_2 – boiler solar 2; T_2 – senzor de temperatură pentru apa din partea inferioară a boilerului BS_1; T_3 – senzor de temperatură pentru apa din partea superioară a boilerului BS_1; T_4 – senzor de temperatură pentru apa din partea inferioară a boilerului BS_2; T_5 – senzor de temperatură pentru apa din partea superioară a boilerului BS_2; T_6 – senzor de temperatură pentru turul circuitului solar; T_7 – senzor de temperatură pentru returul circuitului solar; TD – traductor de debit; R3c – robinet de reglare cu trei căi şi servomotor; celalalte notații au semnificația din fig. IV.6.19

boilere; în acest scop se folosesc traductorul de debit TD și traductoarele de temperatură T6 și T7.

Sistemul de conducere automată asigură prioritate pentru boilerul solar BS1 (boiler prioritar), care se încălzește prioritar față de boilerul solar BS2 (boiler secundar).

Funcționarea schemei

În momentul în care senzorul de temperatură T2 sesizează îndeplinirea condițiilor de alimentare a boilerului prioritar, regulatorul comandă robinetul de reglare cu trei căi, astfel încât începe stocarea apei calde la nivelul acestuia.

Dacă procesul de stocare s-a încheiat, regulatorul comandă prin intermediul robinetului inițializarea stocării la nivelul boilerului secundar.

Printr-o strategie de reglare în funcție de timp și praguri de temperatură prestabilite se comandă bascularea stocării între cele două boilere, în sensul optimizării, pe criterii de maxim a acumulării de energie termică.

b) folosind două pompe de circulație pentru circuitul solar (fig. IV.6.22)

Apa caldă menajeră se prepară în două boilere solare folosind un singur câmp de captatoare solare. Temperaturile T2 și T3 ale apei din boilere depind de consumul de a.c.m. Pentru reglarea temperaturii apei în fiecare boiler se utilizează pompe de circulație distincte, PC1 și PC2, pentru fiecare boiler. Regulatorul solar va comanda pornirile / opririle pompelor PC1 sau PC2. Boilerul solar 1 se încarcă prioritar față de boilerul solar 2.

Schema oferă posibilitatea contorizării energiei termice trimise de la captator la boilere; în acest scop se folosesc traductorul de debit TD și traductoarele de temperatură T6 și T7.

În momentul în care T2 sesizează îndeplinirea condițiilor de pornire ale boilerului prioritar, acesta este încărcat cu prioritate față de cel de-al doilea boiler.

Printr-o strategie de reglare în funcție de timp și praguri de temperatură prestabilite și în acest caz se comandă bascularea stocării între cele două boilere, în sensul optimizării, pe criterii de maxim a acumulării de energie termică.

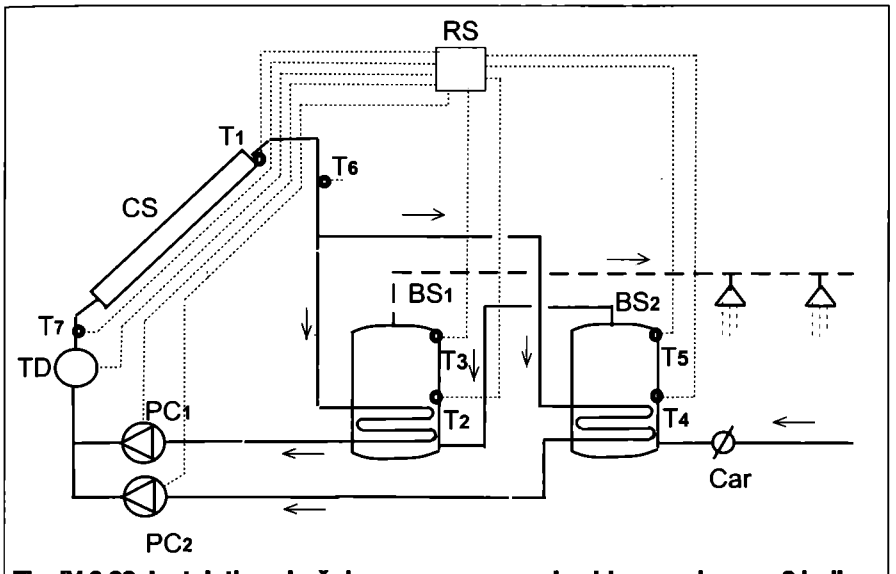


Fig. IV.6.22. Instalație solară de preparare a apei calde menajere cu 2 boilere de acumulare a apei calde și cu 2 pompe de circulație:

PC_1 – pompa de circulație 1, pentru încărcarea cu apă caldă a boilerului solar BS_1; PC_2 – pompa de circulație 2, pentru încărcarea cu apă caldă a boilerului solar BS_2; celalalte notații au semnificația din fig. IV.6.22.

6.3.3. Instalații solare la care necesarul de căldură nu este acoperit integral de la soare

În zona de climă în care se află România, radiația solară nu este suficientă pe toată durata unui an pentru a acoperi întreaga cantitate de căldură necesară pentru prepararea a.c.m. De aceea, în România, o instalație solară trebuie să funcționeze combinată cu un alt generator de căldură (un cazan care funcționează pe combustibil lichid sau gazos, sau un încălzitor electric).

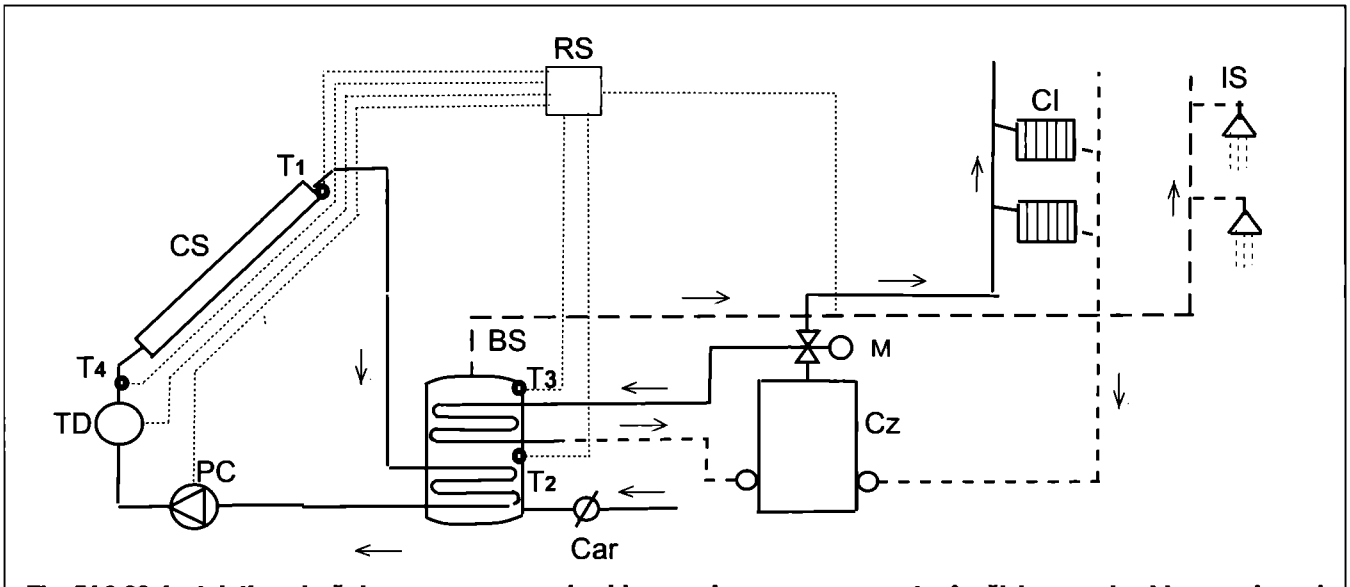


Fig. IV.6.23. Instalație solară de preparare a apei calde menajere cu cazan pentru încălzirea apei calde menajere și pentru încălzirea clădirii:

CZ – cazan pentru pentru încălzirea apei calde menajere și pentru încălzirea clădirii; CI – corpuri de încălzire; IS – instalație sanitară de alimentare cu apă caldă menajeră; T_4 – senzor de temperatură pentru returul circuitului solar; celalalte notații au semnificația din fig. IV.6.19.

6.3.3.1. Instalație solară cu susținerea preparării apei calde menajere
(fig. IV.6.23)

Se prezintă structura și funcționarea unei instalații solare de prepararea apei calde menajere într-o clădire, care utilizează un boiler cu 2 serpentine, cu susținerea instalației de încălzire a clădirii.

Conducerea automată a instalației se realizează cu ajutorul regulatorul solar. La intrările regulatorului solar se conectează traductoare (senzori) care măsoară temperaturile: din captatoarele solare, apei calde din partea inferioară și superioară a boilerului solar.

Regulatorul solar comandă elementele de execuție ale sistemului de conducere automată conform algoritmului implementat în regulator: motorul electric al pompei de circulație din stația de pompare solară și servomotorul robinetului de reglare cu trei căi din circuitul de încălzire al clădirii.

Cazanul va porni automat, în sprijinul instalației solare pentru preparare a.c.m., atunci când temperatura măsurată în partea superioară a boilerului va fi sub valoarea impusă. Cazanul dispune de propria sa automatizare clasică, care primește o singură informație din instalația solară: temperatura din partea superioară a boilerului.

Încărcarea boilerului cu energie solară se realizează întotdeauna atunci când radiația solară este capabilă să ridice temperatura în captatoarele solare peste valoarea temperaturii apei stocate în boiler. Principiul folosit este acela că trebuie stocată oricând în boiler energia solară captată, oricât de mică ar fi cantitatea de energie și se consumă această energie atunci când confortul din clădire o cere.

Apa din boiler este încălzită până la valoarea prescrisă a temperaturii acesteia. Pentru a acumula o cantitate cât mai mare de energie termică în boiler, este necesară menținerea unei temperaturi ridicate în boiler; se recomandă valoarea de 60°C.

Dacă instalația de încălzire nu funcționează, la scăderea temperaturii a.c.m. sub valoarea impusă, cazanul pornește automat, servomotorul vanei cu 3 căi asigură circulația agentului termic prin serpentina din partea superioară a boilerului.

În acest fel se asigură prepararea apei calde menajere în perioadele în care captatoarele solare nu pot asigura temperatura minimă de 40°C.

Când instalația de încălzire funcționează iar captatoarele solare asigură temperatura apei calde menajere din boiler sub temperatura minimă prescrisă, servomotorul vanei cu trei căi asigură circulația agentului termic prin serpentina situată în partea superioară a boilerului.

În acest fel instalațiile solare pot asigura o parte din energia necesară preparării apei calde menajere în perioadele de la începutul și sfârșitul perioadei de încălzire, când temperaturile exterioare sunt pozitive..

IV. Automatizări

Capitolul 7
Automatizarea instalațiilor de ventilare-climatizare

Automatizarea unei instalații de climatizare - cu reglarea temperaturii și umidității

Descrierea instalației tehnologice (fig.12.5.6 din vol V Instalații de ventilare și climatizare)

Instalația de climatizare este compusă din următoarele echipamente:

PA - priza de aer,
GE - gura de evacuat a aerului viciat,
CR_I - clapeta de reglare acționată cu servomotor montată pe circuitul de introducere,
CR_R - clapeta de reglare acționată cu servomotor montată pe circuitul de recirculare,
CR_E - clapeta de reglare acționată cu servomotor montată pe circuitul de evacuare,
F - filtru de praf,
BI - baterie de încălzire cu agent termic apă caldă,
BR - baterie de răcire cu agent termic apă răcită,
14 - generator de abur,
VI - ventilator de introducere,
VE - ventilator de evacuare,
M - servomotor,
V_1 - ventil cu 3 căi montat pe circuitul primar al bateriei de încălzire,
V_2 - ventil cu 3 căi montat pe circuitul primar al bateriei de răcire.

Programul de automatizare

Automatizarea trebuie să asigure următoarele funcțiuni:

1. reglarea automată a temperaturii aerului introdus, prin acționarea vanei cu 3 căi V_1 din circuitul de alimentare cu agent termic al bateriei de încălzire BI respectiv prin acționarea vanei cu 3 căi V_2 din circuitul de alimentare cu agent frigorific al bateriei de răcire BR;
2. reglarea automată a umidității aerului introdus, prin comanda funcționării în trepte a generatorului de abur 14.
3. protecție la îngheț a bateriei de încălzire dacă temperatura aerului la ieșirea din bateria de încălzire BI coboară sub o valoare minimă setată, prin închiderea clapetei de aer proaspăt CR_I, deschiderea clapetei de recirculare CR_R și deschiderea completă a vanei cu 3 căi V_1 la bateria de încălzire;
4. semnalizarea colmatării filtrului;
5. semnalizarea defectului la curea ventilatoarele VI, respectiv VE.

Descrierea instalației de automatizare

Aceasta cuprinde: un regulator de control universal tip POLYGYR, respectiv RWX62.763 producție Landis& Staefa Elveția pentru controlul circuitului de încălzire, a celui de răcire și reglarea proporției de aer recirculat.

Regulatorul poate fi utilizat atât ca regulator secvențial (până la 3 controlere independente, cu acțiune P, PI sau PID) cât și ca regulator digital (până la 3 controlere independente, cu acțiune P).

Regulatorul de control universal RWX62.7036 poate îndeplini funcții principale și auxiliare de control. Funcțiile principale de control sunt corespunzătoare funcțiilor cerute de schema funcțională și anume:

1. reglarea automată a temperaturii aerului introdus, prin acționarea vanei cu 3 căi V1 din circuitul de alimentare cu agent termic al bateriei de încălzire BI, respectiv prin acționarea vanei cu 3 căi V2 din circuitul de alimentare cu agent frigorific al bateriei de răcire BR;

Funcții auxiliare de control:

1. Comutarea în regim "normal", operare în regim de "noapte" și "stand-by".
2. Încălzire sau răcire rapidă
3. Alarmă la deviația valorii curente, pe termen lung (timpul este reglabil), în afara limitelor de toleranță setate.
4. Setarea la distanță.
5. Limitator general, cu acțiune PI, care permite limite absolute minime și maxime.
6. Comutare de îngheț care determină deschiderea clapetei de aer recirculat CRR și a ventilului de pe circuitul bateriei de încălzire V1 în poziția maximă, precum și închiderea clapetei aer proaspăt CRI.
7. Protecție la îngheț, care determină, suplimentar față de funcția prezentată mai sus, oprirea ventilatoarelor și dă semnal de alarmă.
8. Controlul în funcție de temperatura exterioară, care, în combinație cu monitorizarea protecției la îngheț, menține pornită în mod continuu pompa de apă caldă atât timp cât temperatura exterioară este sub valoarea punctului setat.

Pentru realizarea funcțiunilor principale descrise mai sus sunt necesare 5 sonde (fig. IV.7.1) de temperatură, și anume:

B1 + B2 - unitate de cameră cu posibilitate de setare a temperaturii dorite tip QAA 25;
B3 - senzor de temperatură montat pe canalul de introducere aer tratat tip QAM 22, cu rol de menținere a parametrilor aerului introdus în limite prestabilite;
B4 - senzor de temperatură montat pe canal tip QAM 22, după bateria de încălzire, cu rol de protecție la îngheț a acesteia;
B5 - senzor de temperatură aer exterior tip QAM 22, pentru compensarea punctelor setate în funcție de condițiile exterioare și pornirea pompei de pe circuitul bateriei de încălzire periodic atunci când temperatura exterioară scade sub o valoare limită.

Furnitura generatorului de abur GA conține tabloul de comandă și automatizare. Acesta este echipat cu automatizare proprie care realizează controlul umidității relative a aerului, respectiv un senzor de umiditate care comandă pornirea și oprirea generatorului GA în trepte în funcție de nivelul de umiditate setat.

Pentru siguranța funcționării instalației se prevede montarea unor diferențiale tip QBM 81.13 sau QBM 81.15 pentru sesizarea și semnalizarea colmatării filtrului, respectiv a defectului la curea ventilatoarele VI, respectiv VE.

Funcționarea instalației

Funcționarea echipamentelor tehnologice conform programului de automatizare se face cu ajutorul echipamentelor de automatizare, descrise mai sus, precum și cu ajutorul unui tablou care realizează comanda echipa-

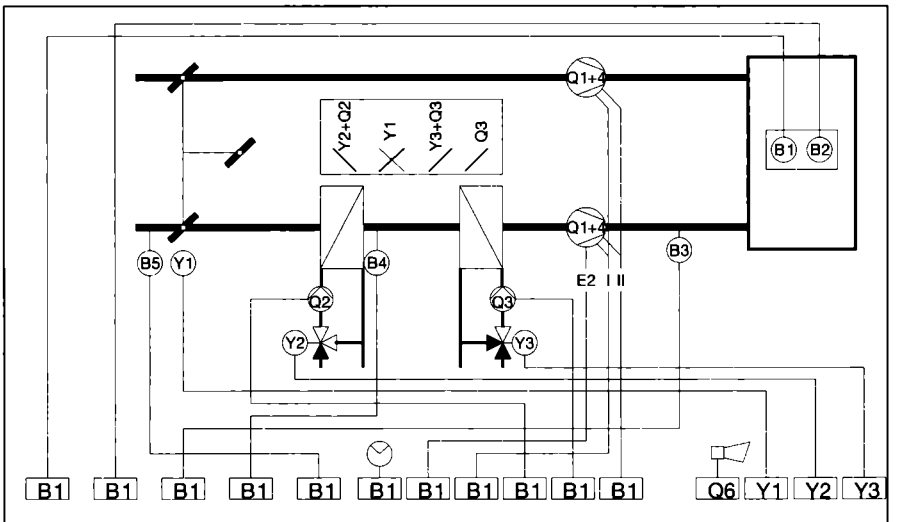


Fig. IV.7.1. Schema de automatizare.

mentelor din centrala de climatizare și intercondiționările echipamentelor de automatizare.

Schema de comandă a tabloului de automatizare este prezentată în fig. IV.7.1.

Sesizarea colmatării (fig. IV.7.2.)

Presostatul diferențial ΔP1 sesizează pierderea de sarcină pe filtru. La depășirea unei valori limită (ce poate fi setată în funcție de caracteristicile filtrului) contactorul de comandă K1 este pus sub tensiune, iar acesta la rândul său comandă aprinderea lămpii de semnalizare H1.

Sesizarea ruperii curelelor ventilatorului VI și VE (fig. IV.7.2).

Semnalizatoarele de rupere ΔP2 și ΔP3 sunt condiționate de funcționarea ventilatoarelor VI și VE prin contractele ND cu temporizare la închidere KT1 și KT2. La ruperea uneia dintre curele semnalizatorul de rupere corespunzător închide contactul (ΔP2 sau ΔP3) punând sub tensiune un contactor de comandă (K2 sau K3). Acesta va semnaliza defectul prin aprinderea lămpii (H2 sau H3). Este de menționat că semnalizarea se menține până la scoaterea manuală din funcțiune cu butoanele nî S1 și S2, contactoarele K2 și K3 fiind automenținute cu ajutorul cnd K2 și K3.

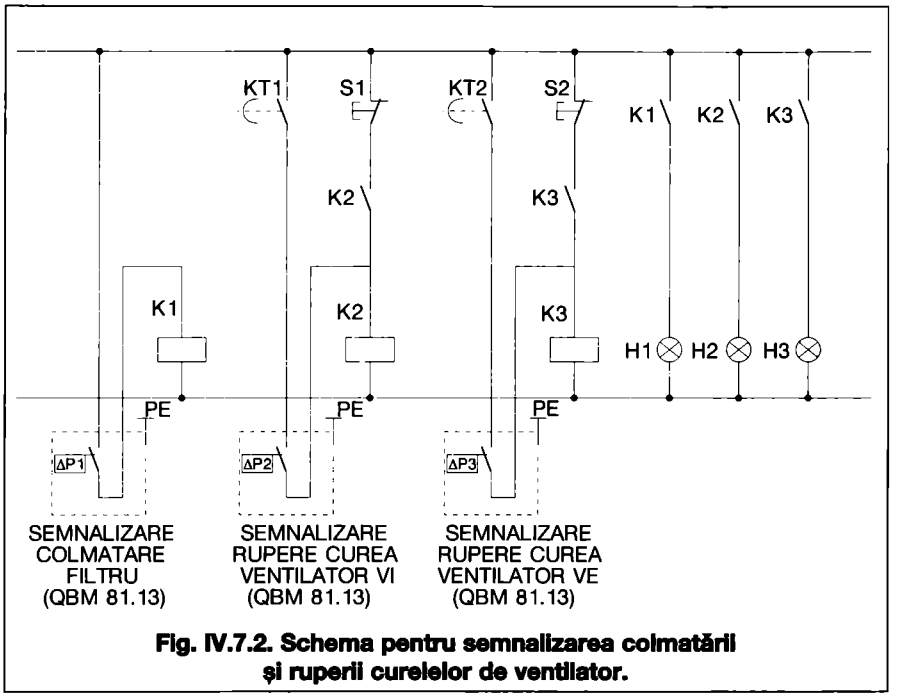


Fig. IV.7.2. Schema pentru semnalizarea colmatării și ruperii curelelor de ventilator.

IV. Automatizări

Capitolul 8

Anclanșarea automată a surselor de rezervă

8.1. Anclanșarea automată a rezervei (AAR)

Rolul anclanșării automate a alimentării de rezervă și domeniul de aplicare

La alegerea soluțiilor de alimentare a consumatorilor trebuie să se țină seama de importanța acestora, de continuitatea necesară în alimentarea cu energie electrică, de cheltuielile de investiții, exploatare și întreținere etc.

Pe baza considerentelor economice este rațional, întotdeauna, să se utilizeze alimentarea radială. Acest fel de alimentare nu rezolvă însă problema continuității în alimentare, deoarece un defect ce survine pe ramura de alimentare poate scoate din funcțiune consumatorul respectiv.

Pentru marea majoritate a consumatorilor, schemele de alimentare trebuie concepute astfel încât, în timpul unei avarii pe linia sau la sursa de alimentare normală, să existe posibilitatea unei alimentări de rezervă. Pentru aceasta, consumatorii pot avea o dublă alimentare (de exemplu: prin două linii sau prin două transformatoare în permanență în funcțiune) sau o alimentare în funcționare normală și una de rezervă, care intervine când alimentarea normală a ieșit din funcțiune.

Soluția dublei alimentări are următoarele dezavantaje:
- nu sunt utilizate decât cel mult 50 % din capacitățile elementelor de legătură;
- se utilizează de două ori mai mult aparataj de legătură decât cel necesar (întreruptoare, separatoare, transformatoare de intensitate etc);
- deoarece cele două alimentări funcționează în paralel, impedanța lor scade la jumătate, ceea ce conduce la creșterea puterilor de scurtcircuit pe barele consumatorilor, deci solicitările termice și dinamice ale aparatajului cresc;
- protecțiile prin relee ale elementelor de legătură se complică și implicit sunt mai scumpe (protecții diferențiale longitudinale sau transversale, direcționale etc.).

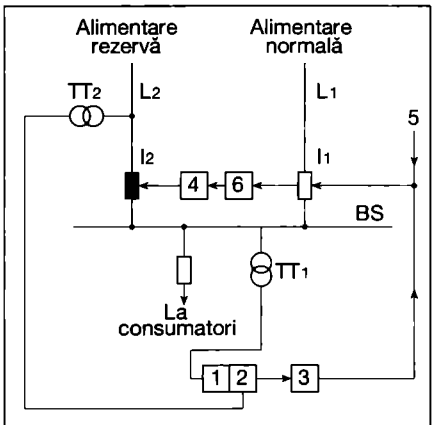


Fig. IV.8.1. Schema bloc de elemente a dispozitivelor AAR.

Soluția alimentării de rezervă constă în aceea că la fiecare consumator există, pe lângă elementul de legătură normal, și un element de rezervă, care are rolul de a suplini elementul normal în cazul defectării acestuia. În funcționare normală elementul de rezervă este deconectat.

Soluția prezintă următoarele avantaje:
- alimentarea normală este încărcată în permanență cu sarcina consumatorului;
- solicitările termice și dinamice ale aparatajului consumatorului sunt reduse;
- sistemele de protecții prin relee sunt mai simple, deoarece rețeaua este radială;
- o singură alimentare poate servi ca rezervă pentru mai multe elemente în funcțiune.

Intrarea în funcțiune a rezervei poate fi comandată manual sau automat. Conectarea manuală întârzie alimentarea consumatorilor, mai ales când nu există personal de exploatare la fața locului. De aceea, în instalațiile care alimentează consumatori importanți sau foarte importanți (în instalații de distribuție și de producere a energiei electrice) conectarea alimentării de rezervă trebuie să se facă automat. *Prin anclanșarea automată a alimentării de rezervă - AAR - se înțelege totalitatea dispozitivelor care, în cazul deconectării din orice cauză a alimentării normale, conectează automat alimentarea de rezervă.*

Introducerea anclanșării automate a rezervei prezintă următoarele avantaje:
- reducerea personalului tehnic de exploatare a instalațiilor electrice;
- simplificarea schemelor de alimentare pentru același grad de siguranță;
- mărirea considerabilă a siguranței în funcționare în caz de avarie;
- eliminarea completă a întreruperilor ce survin în urma manevrelor greșite.

Introducerea acestor automatizări necesită unele cheltuieli de investiții și întreținere, care sunt relativ reduse față de avantajele pe care le prezintă.

Condițiile pe care trebuie să le îndeplinească AAR.

Scopul unei scheme AAR este ca în momentul când, din orice cauză, alimentarea principală nu mai este în măsură să satisfacă cererile consumatorilor (manevre greșite sau avarii) să intre în funcțiune alimentarea de rezervă.

Elementul care permite o detectare sigură a unei stări normale care periclitează funcționarea în bune condițiuni a consumatorilor este tensiunea pe barele la care sunt racordați acești consumatori. Dispariția alimentării normale (principale) poate fi produsă de:
- avarierea elementului de legătură principal (linie sau transformator);
- avarierea sursei de alimentare principală;
- manevrarea greșită a întreruptoarelor elementului de legătură principal;
- avarierea barelor de la stația de alimentare;
- avarii în sistemul consumatorilor.

Rezultă următoarele posibilități de pornire a unei AAR:
- prin protecția care determină declanșarea întreruptorului elementului de legătură principal;
- prin declanșarea întreruptorului elementului de legătură principal (când pornirea se face instantaneu);
- prin măsurarea tensiunii pe barele stației de alimentare (când pornirea se face cu întârziere).

Utilizarea primei metode nu este recomandată deoarece prezintă dezavantajul că nu este sensibilă la manevrare greșită, la dispariția tensiunii pe bare datorită avarierii sursei de alimentare principală, precum și pentru că timpul AAR (t_{AAR}) este cel puțin egal cu timpul protecției considerate.

Instalațiile de AAR trebuie să fie blocate în cazul defectelor în rețeaua consumatorilor, care pot duce la scăderi importante ale tensiunii și care trebuie să fie eliminate de protecțiile acestora. De asemenea, instalațiile de AAR nu trebuie să lucreze în cazul defectelor din amonte față de barele de alimentare, care trebuie eliminate de protecțiile respective.

AAR trebuie executată după declanșarea alimentării normale.

Schemele AAR vor cuprinde următoarele elemente (schema bloc din fig. IV.8.1.):
- elementul de pornire (1), format din relee minimale de tensiune care controlează tensiunea pe barele consumatorilor și care comandă pornirea numai după ce s-a constatat existența tensiunii pe barele alimentării de rezervă (elementul de control 2);
- elementul de temporizare (3); t_{AAR} trebuie să fie cât mai scurt posibil, dar trebuie să fie mai mare decât timpul necesar deionizării mediului în care a avut loc scurtcircuitul;
- elementul de comandă a declanșării întreruptorului elementului de legătură principal și, ca urmare a acestei declanșări, anclanșarea întreruptorului elementului de legătură de rezervă;
- un element de blocare contra anclanșărilor repetate ale întreruptorului elementului de legătură de rezervă (4);
- impulsul de declanșare de la întreruptorul din amonte (5);

- un element de întârziere (6) a anclanșării elementului de legătură de rezervă în cazul când timpul propriu de declanșare al întreruptorului elementului de legătură principal plus timpul de anclanșare al întreruptorului elementului de rezervă este mai mic decât timpul necesar deionizării;
- dispozitive auxiliare: cheia AAR, semnalizări de funcționare

Schema electrică pentru AAR la post de transformare cu două transformatoare (1+1) MT/0,4 kV

Se prezintă principiile de funcționare AAR exemplificate pe schema desfășurată a unei instalații AAR la un post de transformare cu două transformatoare MT/0,4 kV racordate la două secții de bare unite prin cuplă longitudinală (fig. IV.8.2)

În regim normal de funcționare cele două transformatoare T1 și T2 sunt în funcțiune și sunt racordate prin întreruptoarele 1Q și 2Q la câte o secție de bare, întreruptorul de cuplă 3Q fiind deschis. Întreruptoarele 1Q, 2Q, 3Q sunt de tip OROMAX.

Similar sunt concepute și schemele AAR pentru stații de medie tensiune.

Principiile de funcționare sunt:

1. AAR pornește la lipsa tensiunii pe barele active și în prezența tensiunii pe barele de rezervă.

La stațiile de medie tensiune (6,10 kV) este indicat ca demarajul AAR să fie realizat de releele de minimă tensiune care comandă declanșarea motoarelor prin protecție de minimă tensiune.

Releele de minimă tensiune F301... F306 trebuie să aibă contactele normal închise înseriate pentru a nu da comanda greșită la arderea siguranțelor în circuitele de tensiune. Condiția prezenței tensiunii este multiplicată prin releele K 143, K 149 (circ. 18, 19).

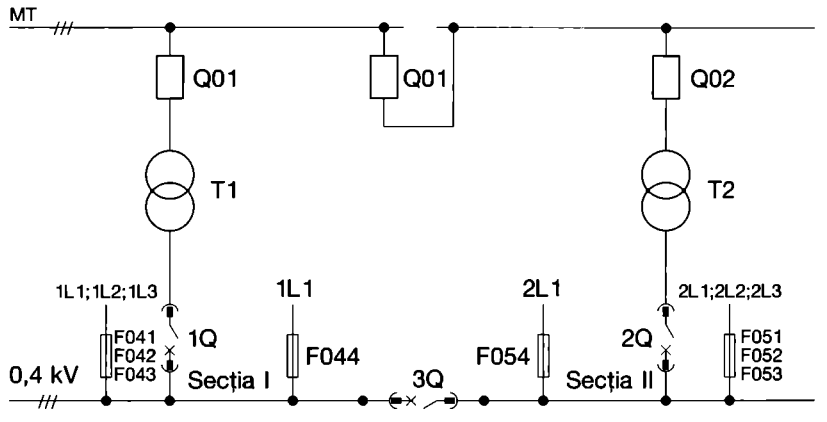


Fig. IV.8.2 a. Schema electrică AAR la post de transformare echipat cu două transformatoare MT/0,4 kV.

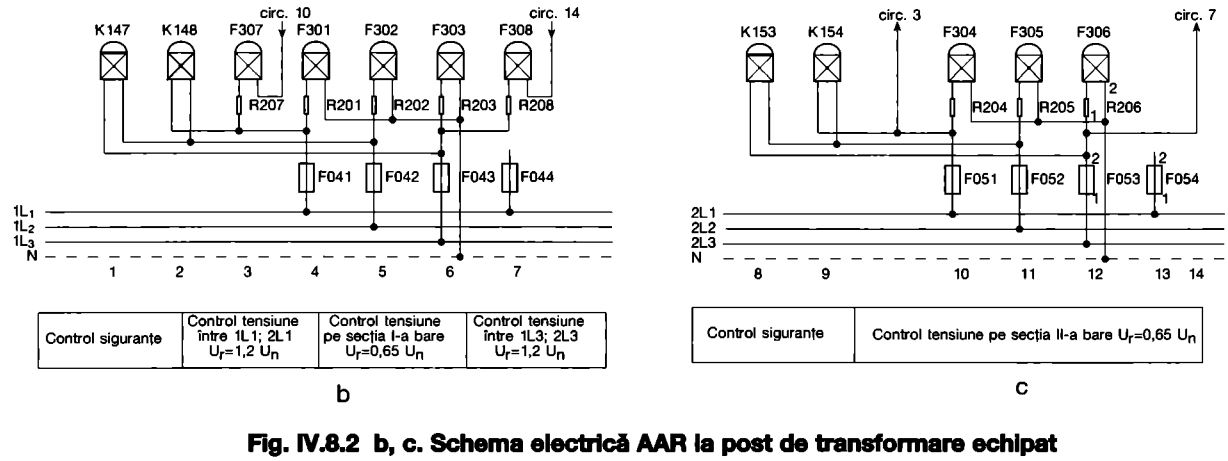
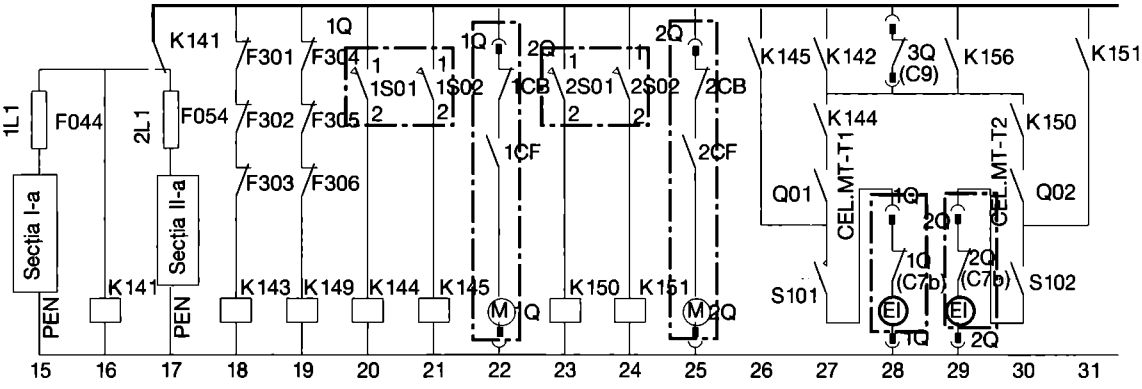


Fig. IV.8.2 b, c. Schema electrică AAR la post de transformare echipat cu două transformatoare MT/0,4 kV:

b - controlul siguranțelor de comandă și a tensiunii pe secția I-a de bare; c - idem, pe secția a II-a de bare.



Alimentare barete de comandă	Tensiune minimă		Întreruptor 1Q			Întreruptor 2Q			Anclanșare întreruptor 1Q		Anclanșare întreruptor 2Q	
	Secția I-a U<0,65 Un	Secția II-a U<0,65 Un	Poziție Introdus	Poziție Extras	Armare resorturi	Poziție Introdus	Poziție Extras	Armare resorturi	Extras	Introdus	Introdus	Extras

Fig. IV.8.2 d. Schema electrică AAR la post de transformare echipat cu două transformatoare MT/0,4 kV.

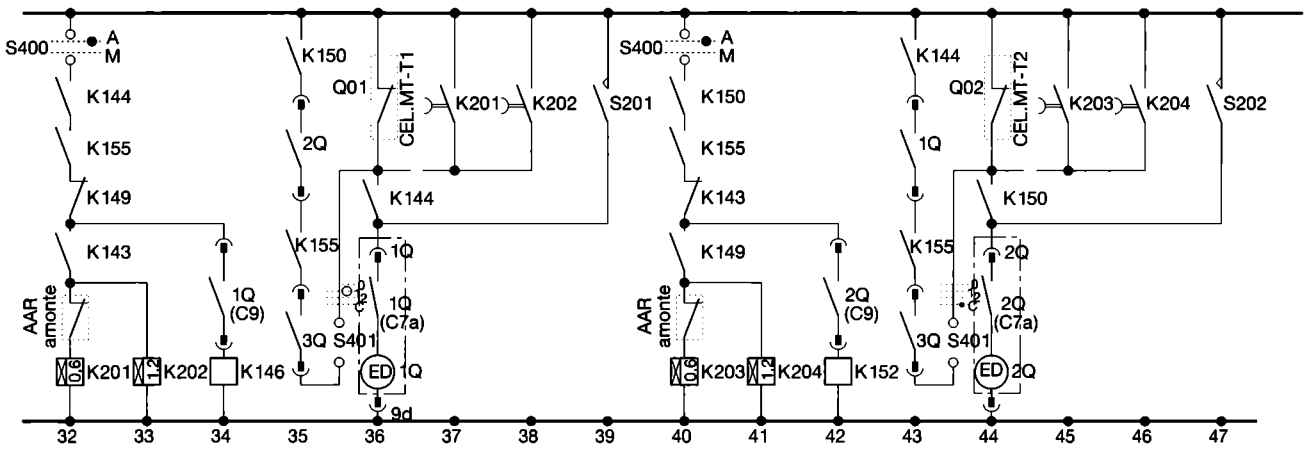
Arderea siguranțelor în circuitele de tensiune se semnalizează personalului de exploatare prin intermediul contactelor releelor K147, K148, respectiv K153, K154.

Releele F307, F308 controlează pe fazele omoloage ale fiecărei secții de bare (1L1 - 2L1, 1L3 - 2L3) tensiunea rezultată din tensiunea reziduală a motoarelor, astfel încât aceasta să aibă o valoare sub 1,2 U_n - tensiunea nominală, evitând închiderea cuplei când tensiunile rezultante ale fazelor omoloage sunt în opoziție de fază.

2. Instalația AAR comandă cu temporizare declanșarea întreruptorului de alimentare normală, corespunzătoare sursei defecte (circuitele 37, 38 pentru 1Q, respectiv 45, 46 pentru 2Q). Temporizarea determină „pauza AAR" și de aceea trebuie să fie cât mai mică.

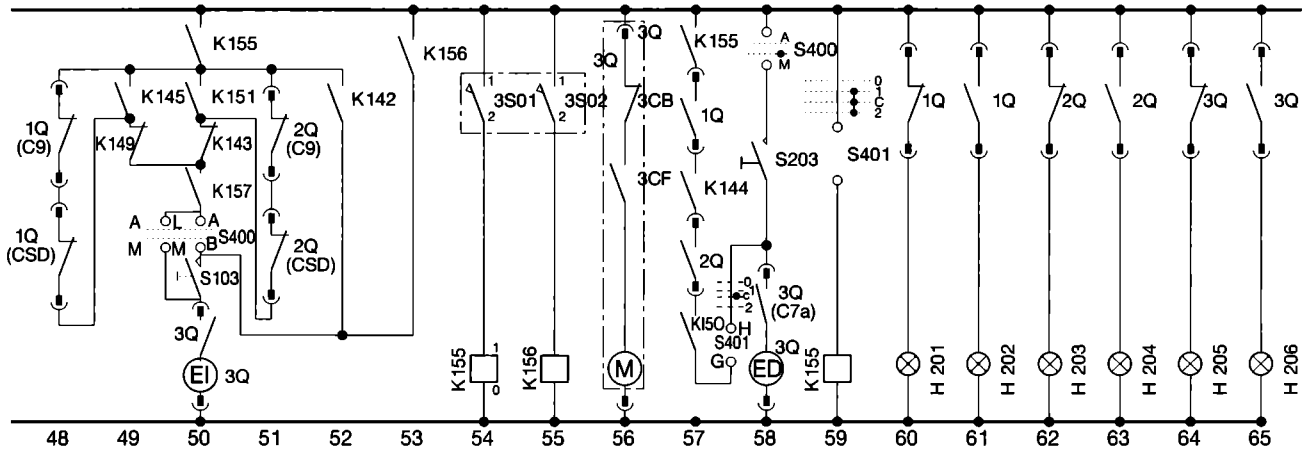
3. Declanșarea alimentării normale este urmată fără temporizare de anclanșarea alimentării de rezervă (comanda este dată prin contactul normal închis al întreruptorului alimentării normale). În consecință, la declanșarea accidentală a întreruptorului alimentării normale, întreruptorul alimentării de rezervă anclanșează fără temporizare. Același contact auxiliar realizează și blocajul conectării alimentării de rezervă când alimentarea normală este în funcțiune, în scopul evitării punerii în paralel a celor două surse care ar putea fi nesincrone sau, chiar dacă fiind sincrone, ar determina o circulație de putere inadmisibilă (circuitele 48 și 51).

4. Pentru accelerarea AAR, declanșarea întreruptorului din amonte al fiderului de alimentare a unei secții de bare (sau a întreruptorului de MT al unui transformator MT/0,4 kV), comandă prin contactul său normal închis declanșarea întreruptorului corespunzător de pe fider, care constituie alimentarea secției respective de bare (circuitele 36,44). În acest fel, declanșarea accidentală sau prin protecții netemporizate este urmată de funcționarea netemporizată a AAR. Dacă la condiția de mai sus se adaugă blocajul anclanșării întreruptorului din aval, dacă întreruptorul pe același fider (transformator) este declanșat, se evită



Condiții AAR pe Secția I-a		Control circ. de c-dă AAR Secția I-a	Declanșare întreruptor 1Q				Condiții AAR pe Secția a II-a		Control circ. de c-dă AAR Secția a II-a	Declanșare întreruptor 2Q				
Temp. mică	Temp. mare		La paralel prin 3Q	Prin decl. întreruptor MT	Prin AAR		Co-mandă manuală	Temp. mică	Temp. mare		La paralel prin 3Q	Prin decl. întreruptor MT	Prin AAR	Co-mandă manuală
					Temp. mică	Temp. mare							Temp. mică	Temp. mare	

e



Anclanșare întreruptor 3Q			Întreruptor 3Q					Multiplicare contact cheie S401	Semnalizări de stare					
Pe poziția "INTRODUS"		Pe poziția "EXTRAS"	Poziție întreruptor		Armare resorturi	Declanșare			Întreruptor 1Q		Întreruptor 2Q		Întreruptor 3Q	
Prin AAR	Comandă manuală		Introdus	Extras		Comenzi automate	Comenzi manuale		Declanșat	Anclanșat	Declanșat	Anclanșat	Declanșat	Anclanșat

f

Fig. IV.8.2 e, f. Schema electrică AAR la post de transformare echipat cu două transformatoare MT/0,4 kV:
e - comenzi declanșare întreruptoare, 1Q, 2Q; f - comenzi întreruptor 3Q. Semnalizări.

și alimentarea fiderului din aval în amonte (circuitele 27, 30).

5. În cazul existenței unor motoare sincrone sau generatoare racordate la bare fără tensiune, pornirea AAR se face în condițiile de mai sus, iar comanda de declanșare a întreruptorului alimentării de rezervă va fi blocată de condiția declanșării întreruptoarelor motoarelor sincrone și generatoarelor conectate la bara fără tensiune. În acest caz, temporizarea anclanșării alimentării de rezervă este max (t_{AAR}, $t_{decl.mot.sincr.}$).

6. Scăderea tensiunii pe bare, care determină pornirea AAR, poate fi provocată de:

a. scurtcircuite pe barele respective sau în aval care determină trecerea unor curenți mari prin întreruptorul alimentării normale;
b. scurtcircuite pe alte plecări din stațiile în amonte, declanșări ale alimentării acestor stații, care nu determină trecerea unor curenți mari prin întreruptorul alimentării normale.

În cazul „a", defectul se află pe partea consumatorului, în raport cu bara fără tensiune (dacă sursa de alimentare nu este defectă, dar este deranjată de defect) și AAR nu trebuie să funcționeze.

În cazul „b", defectul este pe partea sursei de alimentare în raport cu bara fără tensiune. În această situație AAR trebuie să funcționeze pentru a înlocui sursa defectă cu cea de rezervă.

Blocajul AAR la scurtcircuite pe bare sau în aval se realizează cu o protecție maximală de curent netemporizată (în cazul analizat, contactele 1 CSD, 2 CSD-circuitele 48,51 - al releelor electromagnetice ale întreruptoarelor automate). Reglarea releelor de curent se face la valoarea minimă a curentului care determină scăderea tensiunii pe bare la care funcționează releele de tensiune minimă ce pornesc AAR. Reglând la o valoare mai mare, este posibil să apară un curent (la un defect la consumator) și o scădere a tensiunii corespunzătoare pe bare, astfel că AAR să pornească și să nu fie blocată de protecția maximală de curent. Rezultatul este conectarea sursei de rezervă pe un consumator defect, deci extinderea avariei.

În cazul inexistenței blocajului AAR la scurtcircuite pe bare sau în aval, temporizarea AAR trebuie să fie superioară temporizării maxime a protecțiilor circuitelor conectate la barele respective, astfel ca scurtcircuitele pe aceste circuite să poată fi lichidate de întreruptoarele circuitelor înainte de conectarea sursei de rezervă.

7. Instalația AAR prezentată nu este reversibilă, adică trecerea respectivei secții de bare de pe alimentarea de rezervă pe alimentarea normală nu se realizează automat. Funcționarea cu alimentare pe sursa de rezervă înseamnă funcționarea fără nici o altă rezervă. De aceea, este necesar ca punerea în funcțiune a alimentării să se realizeze cât mai repede și să treacă secția de bare pe alimentarea normală. Pentru ca trecerea de pe o alimentare pe alta să se realizeze fără întreruperea tensiunii, este necesar ca cele două alimentări să fie puse în paralel, pentru scurt timp, cu condiția realizării paralelului în amonte.

Reducerea maximă a duratei de funcționare în paralel se obține prin declanșarea automată a unui întreruptor (care întrerupe legătura de punere în paralel), după anclanșarea întreruptorului care realizează paralelul. Alegerea întreruptorului care se dorește a fi declanșat automat se face prin intermediul comutatorului S401 cu blocare mecanică, care are 4 poziții: 0; 1 - T1; 2 - T2; C - cuplă (de exemplu, pentru scoaterea voită din funcțiune a transformatorului T1, anclanșarea cuplei 3Q este urmată de declanșarea automată a întreruptorului 1Q - circuitul 35).

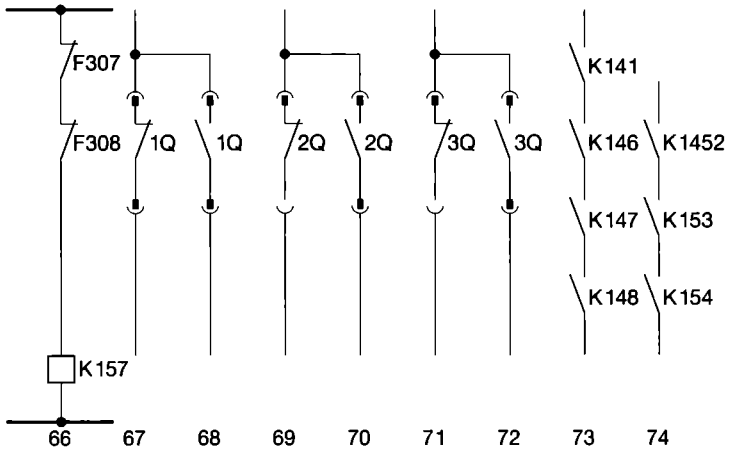
8. Punerea în funcțiune a instalației de AAR se realizează cu cheia de comandă S400.

9. În cazul dispariției tensiunii pe o bară, toate barele din aval alimentate de la aceasta vor fi lipsite de tensiune, ceea ce determină pornirea AAR în toate stațiile electrice respective.

Pentru rezolvarea acestei situații este suficient să lucreze AAR în stația de amonte; acest lucru este necesar și pentru ca barele din aval să rămână pe alimentarea normală, păstrându-și rezerva.

De aceea, este indicat ca AAR în toate stațiile de MT și JT să aibă două trepte de temporizare: treapta mai mică, pentru cazurile în care AAR din amonte nu a pornit (deci nu trebuie așteptată conectarea sursei de rezervă în amonte) și o treaptă superioară, pentru situația în care AAR din amonte a pornit. În ultimul caz revenirea tensiunii se realizează cu treapta de timp mai mică, datorită funcționării AAR în amonte. Dacă AAR în amonte nu rezolvă conectarea sursei de rezervă în locul celei normale, deși a demarat, AAR în aval lucrează cu treapta a II-a (mai mare). Cele două trepte de timp ale AAR sunt aceleași pentru toate stațiile de MT și de 0,4 kV. În lipsa interblocării instalațiilor AAR amonte-aval trebuie mărită temporizarea AAR din aval față de AAR din amonte, ceea ce conduce la pauze mari AAR pe barele de 0,4 kV, adică tocmai la consumator, ceea ce scade eficiența AAR.

În cazul existenței interblocării între



Camă	Contact	Poziție Manual M	Poziție Automat A
1	A-B	x	–
	C-D	–	x
2	E-F	x	–
	G-H	–	x
3	I-K	x	–
	L-M	–	x

M A

Contact	Poziția 0	1	C	2
A-B	–	–	–	–
C-D	x	–	–	–
E-F	–	x	–	–
G-H	–	–	x	–
I-K	–	–	–	x
L-M	x	–	–	–

I C 0 2

Multiplicare contacte	Semnalizări la distanță: Poziție întreruptoare 1Q	2Q	3Q	Funcționare normală: Secția I-a	Secția II-a	Diagrama cheii S400	Diagrama cheii S401

Fig. IV.8.2 g. Schema electrică AAR la post de transformare echipat cu două transformatoare MT/0,4 kV.
Semnalizări la distanță (contacte libere). Diagrame chei.

instalațiile AAR amonte-aval, revenirea tensiunii se realizează cu treapta mică de timp și, numai în caz de refuz de funcționare a unei instalații AAR, cu treapta a doua de temporizare.

10. Valoarea temporizării treptei a două (mai mare) a AAR trebuie să fie mai mică decât pauza de tensiune maximă admisă de consumatori; în caz contrar AAR poate deveni inutil. Treapta a doua trebuie să fie mai mare decât treapta întâi cu un interval de timp determinat de timpii proprii ai întreruptoarelor și ai releelor de tensiune (la excitare). De asemenea, este util ca treapta întâi să depășească timpul cu care sunt lichidate acele scurtcircuite care produc pornirea AAR. Acoperitor, se poate lua treapta întâi de 0,4 - 0,5 sec, ceea ce reprezintă în general un timp satisfăcător pentru utilajele acționate de motoare asincrone.

11. În schema AAR realizată cu întreruptoare debroșabile este importantă nu numai poziția contactelor principale ale întreruptoarelor, ci și poziția „introdus" sau „extras" a întreruptorului. Astfel, un întreruptor închis, aflat pe poziția „extras" este echivalent cu același întreruptor deschis aflat pe poziția „introdus", adică circuitul respectiv este deschis.

Pentru a utiliza în schemele desfășurate poziția întreruptorului, se folosesc limitatoare de cursă pentru cele două poziții - „introdus" și „extras". Contactele multiplicate ale acestora servesc la realizarea schemelor de comandă, protecție și semnalizare astfel ca:

- pe poziția „introdus" întreruptorul să fie supus comenzilor manuale și automate, blocajelor cu alte aparate electrice, iar comenzile și blocajele determinate în alte circuite să fie active;
- pe poziția „extras" întreruptorul să nu fie supus comenzilor manuale exterioare și automate și nici blocajelor exterioare, iar blocajele și comenzile date în alte circuite să fie anulate; pe poziția „extras" se pot face probe electrice și mecanice, reglarea diferitelor dispozitive.

Este necesar să fie controlate contactele limitatoarelor de cursă, iar deschiderea lor anormală să fie semnalizată personalului de exploatare.

12. O condiție esențială pentru eficacitatea instalației de AAR este aceea ca receptorii alimentați de la sursa normală, înainte de avarierea ei să fie conectați la sursa de rezervă după funcționarea AAR.

Scheme electrice pentru AAR la tablouri electrice

Schema electrică, pentru alimentarea dublu radială a unui tablou de forță este prezentată în fig. IV.8.3.

Schema electrică pentru alimentarea dublu radială a unui tablou de iluminat (soluție aplicabilă și pentru alimentarea iluminatului de siguranță tip 3) este prezentată în fig. IV 8.4.

Schema electrică pentru alimentarea tabloului de iluminat de siguranță (alimentarea iluminatului de siguranță tip 1) este prezentată în fig. IV.8.5.

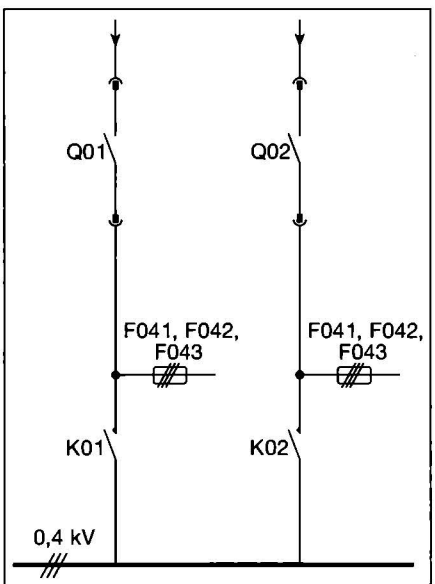
Utilizarea AAR ca metodă de evitare a întreruperii procesului tehnologic la căderea sursei de alimentare normală; implicații asupra schemelor de comandă a receptoarelor

Pentru eficacitatea AAR, consumatorii alimentați în sursa normală înainte de avarierea ei, trebuie să fie conectați la sursa de rezervă, după funcționarea AAR.

Se disting următoarele categorii de receptoare:

- racordate la bare prin separator și siguranțe;
- racordate la bare prin siguranțe și contactoare ale căror bobine sunt alimentate la tensiunea barelor;
- racordate la bare prin siguranțe și contactoare ale căror bobine sunt alimentate de la o sursă independentă de tensiunea de pe bare (baterie de acumulatoare);
- racordate la bare prin întreruptoare automate (0,4 kV sau 6 kV).

Receptoarele racordate la bare prin



Alimentarea dublu radială a tabloului de forță	
Alimentare 1	Alimentare 2

Fig. IV.8.3 a. Alimentare dublu radială a unui tablou de forță. Circuite principale.

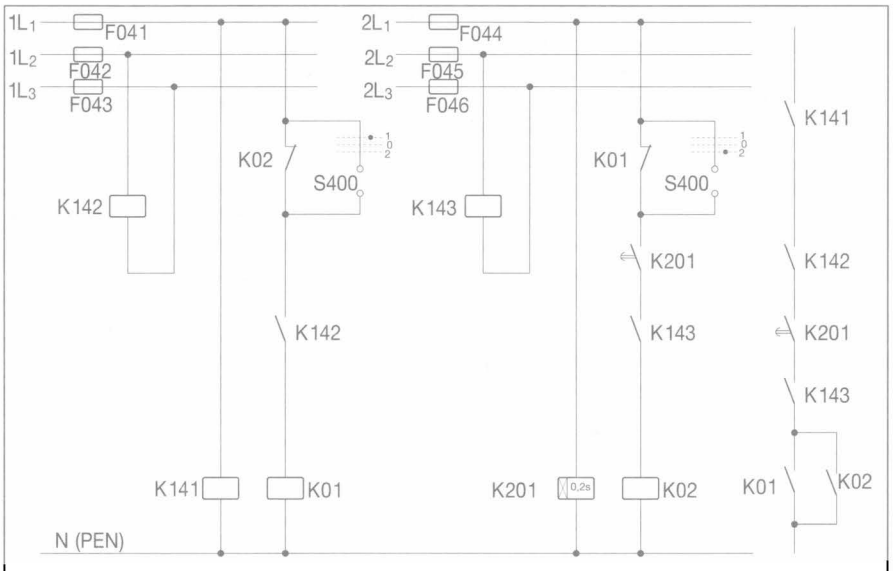


Diagrama selectorului S400

Contacte	Poziția 1	0	2
2 — 4	x	—	—
3 — 5	—	—	x

Alimentarea dublu radială a unui tablou de forță						
Alimentare 1			Alimentare 2			Semnalizare la distanță
Alimentarea circuitului de comandă	Controlul tensiunii pe fider	Comanda contactorului K01	Alimentarea circuitului de comandă	Controlul tensiunii pe fider	Comanda contactorului K02	

NOTĂ
Punerea în paralel a celor două alimentări se face obligatoriu numai cu verificarea prealabilă a sincronismului între cele două sisteme de tensiune din amonte.

Fig. IV.8.3b. Alimentare dublu radială a unui tablou de forță. Circuite de comandă.

separator și siguranțe (instalații electrice de iluminat, coloane spre tablouri secundare etc.) rămân conectate la bare în cazul variațiilor de tensiune pe bare și în pauza de AAR (funcționând apoi pe sursa de rezervă).

Receptoarele racordate la bare prin siguranțe și contactoare cu bobină alimentată de tensiunea de pe bare vor fi deconectate datorită lipsei tensiunii de comandă (bobinele contactoarelor se dezexcită la tensiuni aplicate mai mici de $0,7\ U_n$).

Pentru acești consumatori AAR nu are nici o eficiență, lor trebuie să li se asigure conectarea (anclanșarea contactoarelor) la bare imediat după conectarea sursei de rezervă. Anclanșarea contactoarelor după conectarea alimentării de rezervă se poate realiza:
- prin intermediul instalațiilor de automatizare tehnologică care sesizează scăderea sau creșterea unor parametri și dau comenzile necesare;
- cu ajutorul unui releu de timp cu temporizare la dezexcitare (fig. IV.8.6 a);
- cu ajutorul unui releu intermediar având tensiunea de comandă de la o sursă independentă de tensiunea de pe bare (fig. IV.8.6 b);
- prin alimentarea receptoarelor din circuite echipate cu contactoare ale căror bobine au tensiune de comandă în curent continuu (fig. IV.8.6 c).

În schema din fig. IV.8.6 a, la dispariția tensiunii pe bare, bobina contactorului K se dezexcită, dar circuitul ei rămâne închis pe durata temporizării releului de timp K201. Dacă tensiunea revine pe bare (după AAR sau după lichidarea unui scurtcircuit care a determinat scăderea tensiunii pe bare) în limitele temporizării releului K201, contactorul K anclanșează, iar releul K201 se automenține.

Dezavantajul acestei scheme este acela că orice comandă de oprire trebuie să dureze mai mult decât temporizarea releului de timp. Se impune utilizarea butoanelor de oprire cu reținere, dar aceasta are dezavantajul că împiedică comanda de anclanșare manuală sau automată din alt loc.

În schema din fig. IV.8.6 b, tensiunea de comandă este asigurată de o sursă independentă de tensiunea de pe bare, această sursă fiind o baterie de acumulatoare. În cazul lipsei de tensiune pe bare, contactorul K declanșează datorită dezexcitării bobinei sale, dar circuitul bobinei sale rămâne închis, întrucât releul K100 rămâne excitat, astfel că la revenirea tensiunii pe bare, contactorul K anclanșează.

Dat fiind faptul că circuitul bobinei contactorului K se menține închis timp nelimitat, în absența unei comenzi de declanșare a releului K100, din motive de protecția muncii, este necesară o protecție de tensiune minimă (pot fi utilizate releele de tensiune minimă ale instalației AAR) pentru deconectarea de la sursa de tensiune continuă a baretelor aferente receptoarelor racordate la barele fără tensiune.

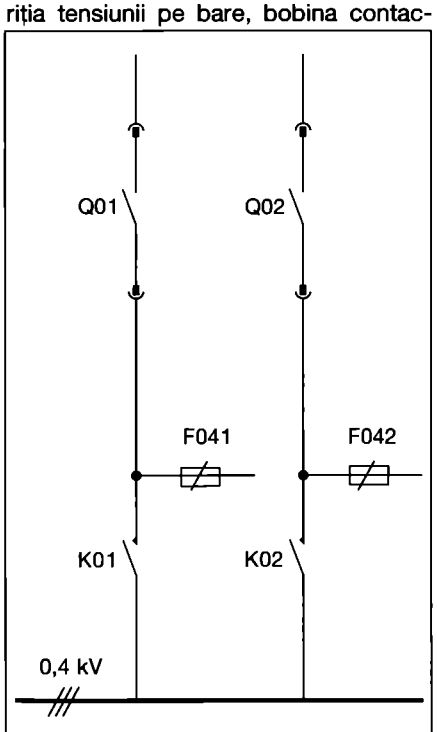
Utilizarea acestor scheme implică o extindere considerabilă a rețelei de curent continuu, cu consecințe negative legate de punerile la pământ și sporirea numărului surselor de curent continuu.

În schema din fig. IV.8.6 c, la lipsa tensiunii pe bare, contactoarele rămân anclanșate până la conectarea sursei de rezervă. Aceasta are avantajul alimentării cu tensiunea remanentă de pe bare, ceea ce are ca efect o reducere mai mică a turației până la conectarea sursei de rezervă prin AAR și deci ușurarea autopornirii motoarelor. Și în acest caz, la lipsa prelungită a tensiunii pe bare, contactoarele trebuie să fie deconectate printr-o protecție de minimă tensiune care să declanșeze alimentarea baretelor de comandă de pe fiecare secție de bare.

În această schemă apare ca element nou rezistența *r*, de stabilizare termică (economizor) înseriată cu bobina contactorului.

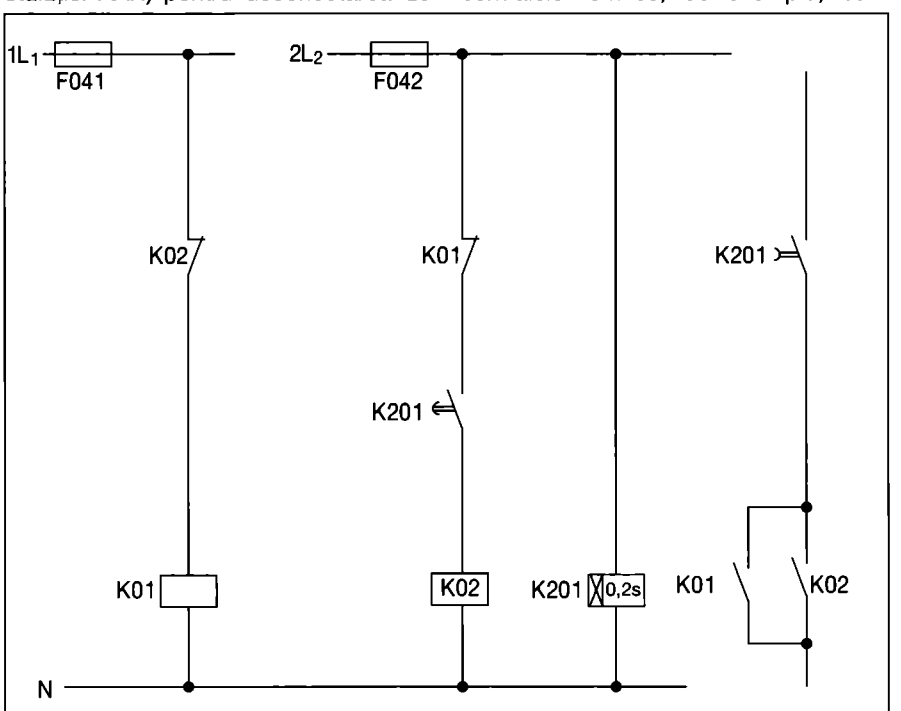
8.2. Conectarea automată a rezervei tehnologice

Pentru asigurarea funcționării normale a multitudinii de echipamente și utilaje ale instalațiilor industriale din centralele termice, de exemplu, este



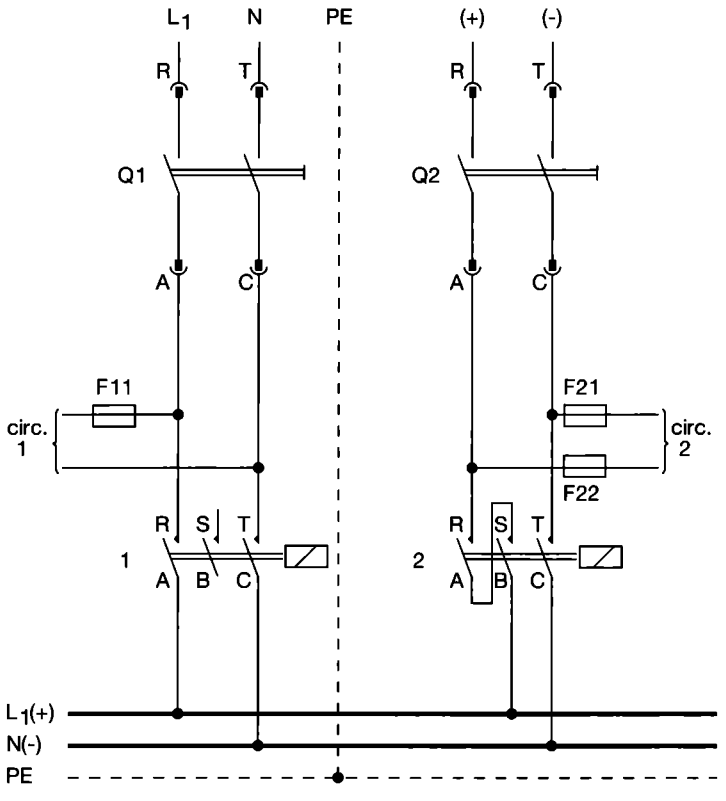
Alimentarea tabloului general de iluminat	
Alimentare 1	Alimentare 2

Fig. IV 8.4a. Alimentarea dublu radială a unui tablou de iluminat. Circuite principale.



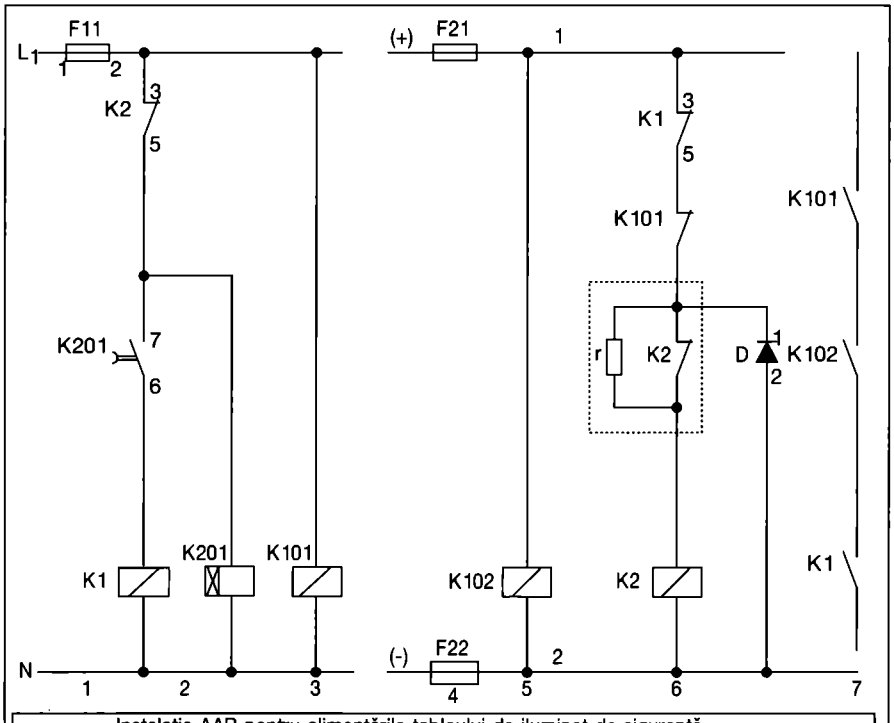
Alimentarea dublu radială a tabloului de iluminat					
Alimentare 1		Alimentare 2			
Alimentarea circuitului de comandă	Comanda contactorului K01	Alimentarea circuitului de comandă	Comanda contactorului K02	Controlul tensiunii pe fiderul alimentării 2 și temporizarea comenzii	Semnalizare la distanță

Fig. IV 8.4 b. Alimentarea dublu radială a unui tablou de iluminat. Circuite de comandă.



Schema de alimentare a tabloului de iluminat de siguranță	
Alimentare în curent alternativ	Alimentare în curent continuu

Fig. IV.8.5 a. Alimentarea tabloului de iluminat de siguranță.
Circuite principale.



Instalația AAR pentru alimentările tabloului de iluminat de siguranță						
Alimentarea în curent alternativ			Alimentarea în curent continuu			
Alimentarea circ. de comandă	Comanda contactorului C2	Controlul tensiunii	Alimentarea circ. de comandă	Controlul tensiunii	Comanda contactorului C2	Semnalizare la distanță

Fig. IV.8.5 b. Alimentarea tabloului de iluminat de siguranță.
Circuite de comandă.

necesar să se realizeze conectarea automată a diverselor agregate sau echipamente, în sensul corelării funcțiunilor și intercondiționării acestora. Într-o centrală termică, la ieșirea din funcțiune a unei electropompe (ca urmare a scăderii frecvenței tensiunii de alimentare, de exemplu), se recurge la conectarea automată a pompei de rezervă.

Se convine ca dispozitivele de conectare automată a rezervei tehnologice (utilajul de rezervă) să se noteze DCRT.

DCRT trebuie să asigure anclanșarea automată a utilajului de rezervă când utilajul de lucru (în serviciu) se oprește sau nu mai satisface parametrii tehnologici normali.

Schema pentru anclanșarea automată a utilajului de rezervă, cu un ciclu, realizează:

- blocarea circuitului de anclanșare automată a rezervei în cazul în care fiecare schemă proprie utilajului transmite, simultan, celei următoare, comanda de anclanșare (Blc, fig. IV.8.7);
- blocarea circuitului de anclanșare automată a utilajului de rezervă, în cazul în care acesta a fost oprit de către protecția de minimă tensiune (U<);
- blocarea în cazul în care utilajul a fost oprit, în mod voit, prin comandă manuală sau automată (A/M));
- pornirea, la primirea semnalului de permisie de lucru (P_m), determinată de parametrii tehnologici (P_t); după scurgerea timpului necesar pentru atingerea acestora (T_a) executarea comenzii automate pentru prima anclanșare a rezervei (PA);
- selectarea utilajului de rezervă ce urmează a fi conectat (Sel); în această situație, comanda de pornire normală (prin anclanșare PA), sosită simultan la schemele tuturor utilajelor ciclului, determină pornirea utilajului preselectat, celelalte rămânând în rezervă;
- verificarea execuției comenzii de anclanșare; în caz de neexecutare, într-un timp prescris, comanda este transmisă utilajului următor; în orice situație, schema blochează, un timp, orice comandă de pornire, pentru a permite utilajului respectiv să intre în funcțiune, la parametrii tehnologici necesari.

8.3. Descărcarea automată a sarcinii (DAS) și reanclanșarea automată a sarcinii (RAS)

Descărcarea automată a sarcinii (DAS). Obiectul și necesitatea DAS. Principiul de funcționare. Dispozitive pentru DAS

Cât timp se menține echilibrul dintre puterea electrică activă generată în sistem (P_E) și cea consumată (P_C), frecvența rămâne în jurul valorii de consemn $f_0 = 50$ Hz. La conectarea unor consumatori mari sau la deconectarea unor grupuri generatoare, cărora rezerva de putere turnantă din SEN nu le poate face față integral, acest echilibru se pierde (deficitul de putere $\Delta P = P_E - P_C < 0$ împiedică sistemele de reglare automată a frecvenței și puterii active să restabilească echilibrul) și frecvența scade inadmisibil de mult și se pierde stabilitatea sistemului. Scăderea frecvenței în SEN determină scăderea productivității sau chiar ieșirea din funcțiune a unor consumatori importanți, ceea ce are ca efect atenuarea deficitului de putere activă ΔP, dar, totodată, reducerea frecvenței până la o valoare f_{min} inadmisibil de mică (deși este posibil ca la această valoare să se fi restabilit echilibrul $P_E - P_C$, funcționarea la această frecvență nu mai este posibilă).

Este posibilă apariția unui deficit de putere reactivă, însoțit de scăderea tensiunii în diferite puncte ale SEN. Se produce astfel fenomenul de „avalanșă de frecvență și tensiune", care, la scăderea frecvenței până la valori $f_{min} = 44 - 45$ Hz, poate determina ieșirea din funcțiune a întregului sistem energetic.

În aceste condiții, unica soluție pentru evitarea unei avarii generalizate în SEN rămâne sacrificarea anumitor consumatori, mai puțin importanți, prin întreruperea automată a alimentării lor, eșalonată, în trepte, urmată de reducerea deficitului de putere. În acest fel, se creează condițiile ca egalitatea $P_E = P_C$ să se restabilească cât mai repede și frecvența să revină la valoarea de consemn $f = f_0$ sau în vecinătatea acesteia, la o valoare de revenire de regim admisibilă $f = f_{rev} < f_0$.

Dispozitivele de automatizare care realizează deconectarea automată a consumatorilor la scăderea frecvenței în SEN se numesc dispozitive de descărcare automată a sarcinii - DAS.

În sistemele dezvoltate, descărcarea automată a sarcinii la scăderea frecvenței este folosită pentru ușurarea resincronizării unor părți din SEN care, în urma unei perturbații oarecare, ajung să funcționeze nesincron.

În sistemul energetic național se folosesc două trepte pentru DAS:

- prima treaptă, rapidă, are rolul de a evita scăderea frecvenței sub valoarea critică $f_{cr} = 45$ Hz și este temporizată cu numai 0,5 s (temporizare necesară pentru a nu se produce acționarea în timpul fenomenelor tranzitorii provocate de scurtcircuite, în timpul acționării RAR și AAR rapide etc);
- cea de a doua treaptă are rolul de a restabili frecvența la valoarea de revenire $f'_0 = 48 - 49$ Hz (de regulă 48,5 Hz), fiind temporizată cu 3 s.

Dacă $f_{cr} = 45$ Hz, se adoptă drept frecvență minimă admisibilă, pentru un scurt timp, valoarea de *45,5* Hz. De asemenea, nu se admite scăderea frecvenței sub *47* Hz mai mult de *20-30* s.

Datorită dezvoltării continue a SEN, calculele privind volumul și parametrii treptelor de DAS se refac din doi în doi ani.

Se urmărește realizarea volumului necesar de sacrificii cu un număr limitat de dispozitive, pentru a ușura exploatarea acestora și a le monta doar în stații ale SEN la care sunt racordați consumatori sacrificabili.

Dispozitivele pentru DAS au un element sensibil, reprezentat de releul de măsură a frecvenței, acordat pentru

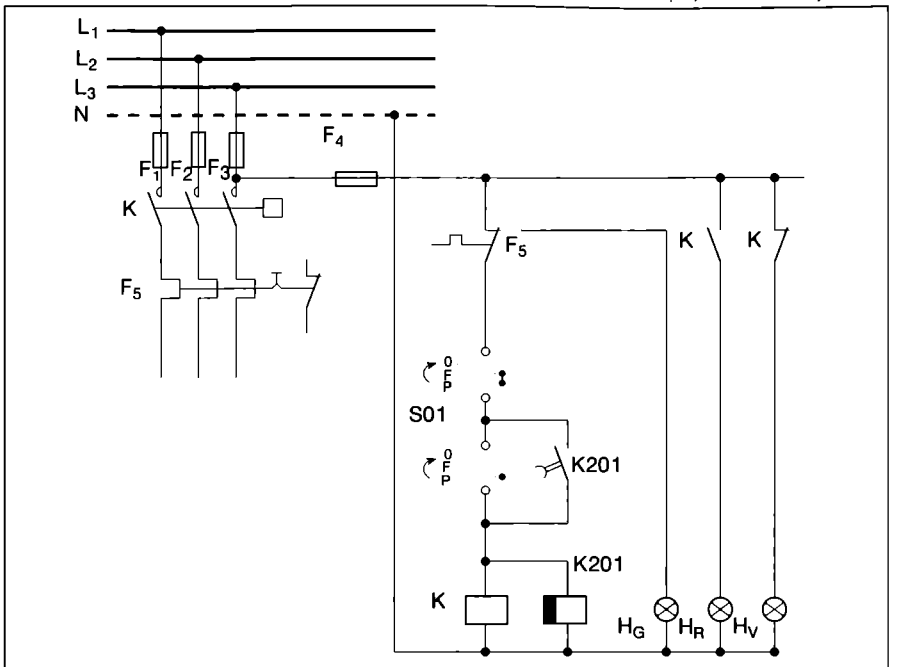


Fig. IV.8.6 a. Schema de comandă pentru receptoarele electrice cu releu de timp.

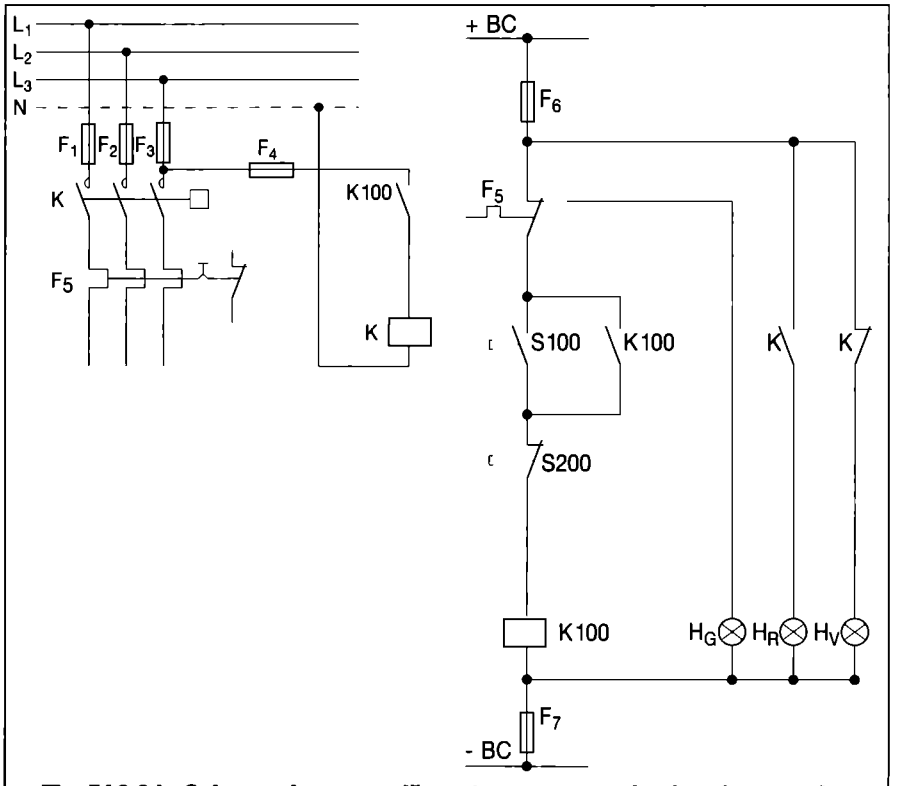


Fig. IV.8.6 b. Schema de comandă pentru receptoarele electrice cu releu intermediar alimentat de la o sursă independentă de tensiunea de pe bare (c.a.).

pornirea selectivă în funcție de frecvență. Acesta poate fi un releu de inducție, cu cuplu de acționare dependent de frecvență sau un releu polarizat, combinat cu filtre de frecvență (L, c) alimentate de la tensiunea rețelei. Cele mai noi tipuri de dispozitive DAS utilizează tehnologie numerică.

În fig. IV.8.8 este prezentată schema de principiu a dispozitivului DAS, cu două tranșe, realizat cu relee de frecvență, releu de timp și relee intermediare.

Tranșa de bază, rapidă se realizează cu releul de frecvență F701 și releu intermediar K 101. Când frecvența scade la valoarea de acționare a releului F701, acesta își închide contactul și prin releul K 101 comandă declanșarea întreruptoarelor consumatorilor din prima tranșă de sacrificiu. Dacă după executarea treptei de bază frecvența nu revine la valoarea prestabilită, intervine o tranșă suplimentară, realizată cu releele F702, K201 și K102. Valoarea de acționare pentru releul F702 este f_{a2} = *47 - 48* Hz.

La închiderea contactului releului F702, se excită bobina releului de timp K201, care acționează releul K102, cu o temporizare de 15...25 s, conform programului DAS. Prin contactele releului K102 se comandă declanșarea întreruptoarelor consumatorilor din tranșa II de sacrificiu, alcătuind treapta suplimentară de DAS.

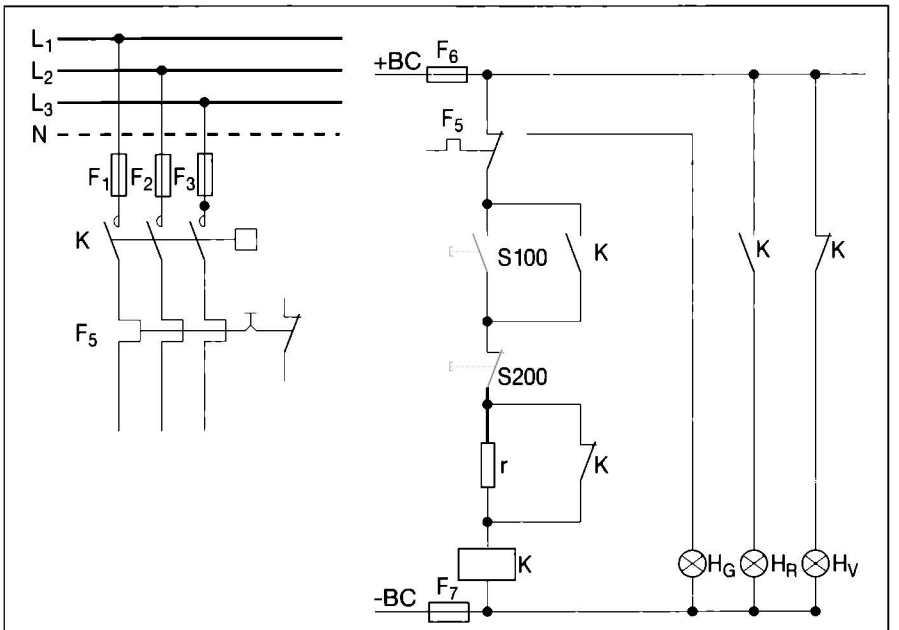


Fig. IV.8.6 c. Schema de comandă pentru receptoarele electrice cu contactor cu bobina alimentată în curent continuu.

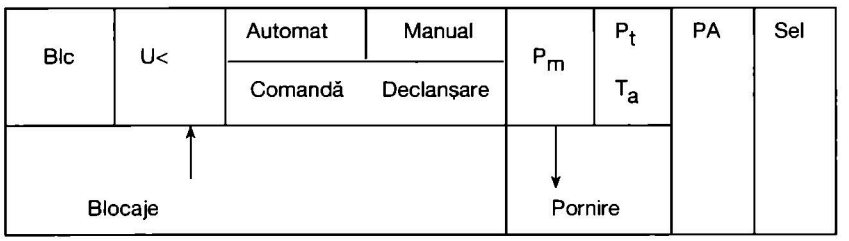


Fig.IV.8.7. Reprezentarea simbolică a schemei pentru anclanșarea automată a utilajului de rezervă, cu un ciclu.

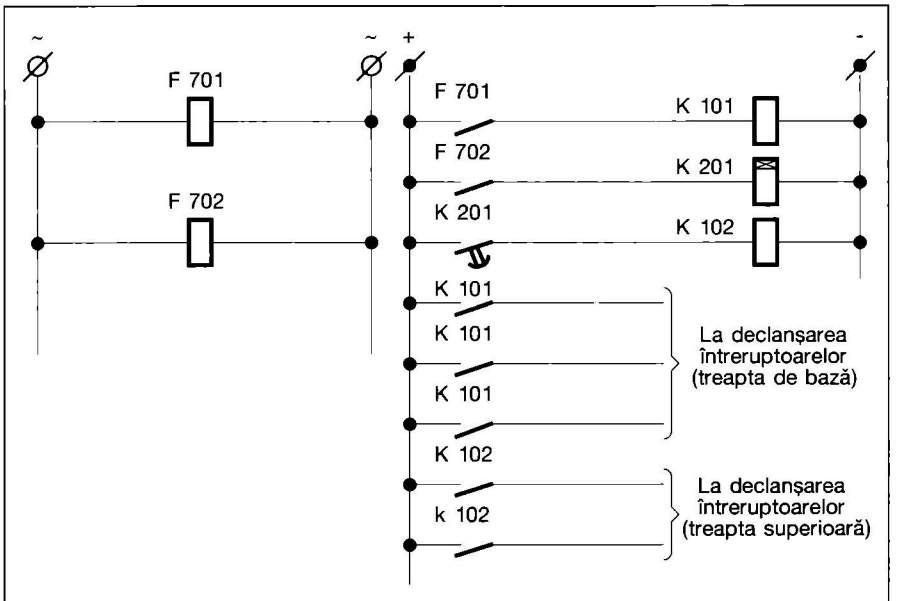


Fig. IV.8.8. Dispozitiv pentru DAS cu două tranșe.

Reanclanșarea automată a sarcinii (RAS)

Pentru restabilirea alimentării consumatorilor sacrificați prin DAS, la revenirea frecvenței, ca urmare a lichidării defectelor sau a conectării unor generatoare cu pornire rapidă (hidroagregate), se poate folosi reanclanșarea automată a sarcinii (RAS) (fig. IV.8.9) sau reanclanșarea automată rapidă în funcție de frecvență (RAR de frecvență). De regulă, aceste dispozitive se folosesc în stațiile fără personal de deservire, care sunt echipate cu dispozitive pentru DAS.

Eficacitatea RAS este legată direct de durata efectivă a întreruperii. Astfel, ea este eficace la întreruperi de alimentare care nu depășesc 25 secunde.

RAS este comandată tot pe trepte (tranșe) de consumatori. Dispozitivele care asigură reconectarea automată a sarcinii conțin un releu de frecvență (care lucrează de această dată la creșterea frecvenței), un releu de timp și unul sau mai multe relee intermediare, prin contactele cărora se transmite semnalul pentru anclanșarea întreruptoarelor de la consumatorii ce urmează a fi reconectați. De obicei, schema pornește prin impuls de comandă de la dispozitivul DAS.

8.4. Automatizarea bateriilor de condensatoare

De regulă, îmbunătățirea factorului de putere la consumatorii industriali de energie electrică în rețeaua de medie sau joasă tensiune se realizează cu baterii de condensatoare.

Bateriile automatizate de condensatoare derivație, de medie sau joasă tensiune, sunt baterii trifazate, având puterea nominală divizată în mai multe trepte egale sau inegale, comutabile automat sau manual.

Numărul de trepte se stabilește în funcție de variațiile curbei de sarcină reactivă.

Blocul de comandă este un regulator care permite cuplarea automată a treptelor de condensatoare, în funcție de necesarul de putere reactivă de compensat al rețelei consumatorului, astfel încât să se mențină un factor de putere egal sau superior celui neutral. Blocul de comandă preia semnalele de tensiune și curent pe care le prelucrează, determinând puterea reactivă consumată în sarcină; în funcție de valoarea obținută, comandă conectarea sau deconectarea treptelor de condensatoare, cu o temporizare între 10...200 s. Secvențele de conectare și deconectare ale treptelor pot fi geometrice (1:2:4), caz în care cu un număr mic de trepte fizice se obține un număr mare de trepte de reglare sau aritmetice (1:1:1; 1:1:1).

Logica de conectare sau deconectare ia în considerare trei obiective decisive pentru durata de viață a sistemului de îmbunătățire a factorului de putere:

a) optimizarea numărului de conectări al treptelor, prin contorizarea numărului de conectări ale fiecărei trepte și conectării întotdeauna a acelei trepte care a funcționat cel mai puțin;
b) condensatoare „în repaus"; reconectarea oricărei trepte se face numai după ce aceasta a fost scoasă din circuit un timp programabil, pentru a reduce solicitarea condensatoarelor;
c) regulatorul supraveghează constant factorul de putere și îl compară cu valoarea prescrisă, evitând conectări inutile ale treptelor.

Regulatoarele moderne asigură protecția rețelei pentru condiția de rezonanță între condensatoare și impedanța rețelei, în special la amplificarea anormală a armonicilor 5 și 7.

8.5 Programarea unui microautomat pentru anclanșarea rezervei.

Microautomatele programabile pot fi folosite și la anclanșarea automată a rezervei AAR în cazul existenței a două surse de alimentare cu energie electrică. Elaborarea programului necesită cunoașterea schemei electrice, schemei de configurare a automatului programabil AP și caietul său de sarcini.

Schema electrică de forță este prezentată în fig. IV.8.9, schema electrică de comandă în fig. IV.8.10 iar schema de conectare și configurare AP în fig. IV.8.11.

Caietul de sarcini al automatului pentru anclanșarea rezervei AAR este prezentat în fig. IV.8.12 sub forma unei rețele Petri interpretate și temporizate. Modificarea caietului de sarcini prin eliminarea blocărilor și introducerea interlocărilor apare în fig. IV.8.13.

Conceptele și metodele definite în legătură cu rețelele Petri interpretate, temporizate și conforme sunt prezentate pe scurt în continuare în legătură cu automatul pentru anclanșarea rezervei.

Variabilele I, S și Q, R care interpretează tranzițiile și locațiile rețelei Petri (fig. IV.8.12) sunt mărimile de intrare, respectiv de ieșire, ale AP (fig. IV.8.11). Variabilele logice T (timer) determină întârzierile la declanșarea tranzițiilor.

Locațiile, desemnate prin cercuri și denumite L1, L2 ... L12, L16 sunt interpretate de acțiunile specificate în dreptul lor. Locațiile active sunt speci-

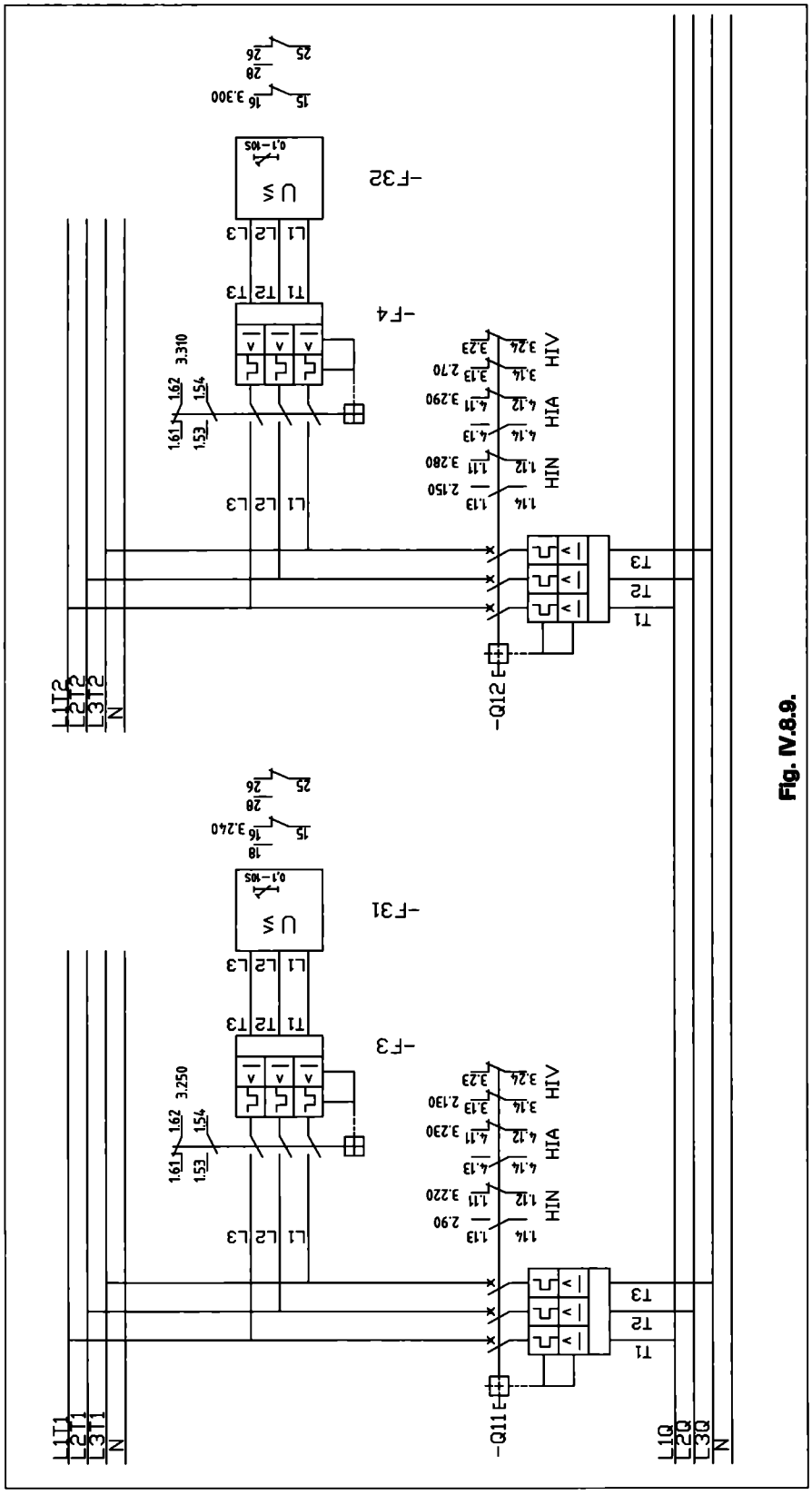


Fig. IV.8.9.

ficate cu ajutorul unei mărci plasate în interiorul lor. La momentul inițial este activă locația L16. Toate variabilele logice care interpretează o locație iau valoarea logică unu (adevărat) atunci când locația este activă. Pentru amplificare se specifică numai variabilele care își modifică valoarea. În locația L16 automatul este inițializat și toate variabilele logice iau valoarea zero dacă nu se speciifică altfel. De exemplu, în locația L11 din fig. IV.8.12, automatul pentru anclanșarea rezervei AAR execută toate acțiunile corespunzătoare unei avarii duble în amonte. În acest scop ieșirile AP notate cu Q2, Q4 și S3 iau valoarea llică unu, releele corespunzătoare K4, K6 se acționează și lampa H9 semnalizează (fig. IV.8.11) în consecință se deconectează întreruptoarele Q11 și Q12 (fig. IV.8.10).

Tranzițiile, desenate prin linii perpendiculare pe arcele orientate, suntt interpretate de variabile sau expresii logice. Când acestea iau valoarea logică unu (adevărat) și toate locațiile precedente sunt active tranziția se declanșează. Prin această operație toate locațiile precedente tranziției se dezactivează și cele posterioare tranziției se activează. De exemplu tranziția de la locația L3 la locația L5 este interpretată de o temporizare care face variabila logică T1 egală cu unu după 0,3 s de la activarea locației L3 dacă negarea variabilei I05 ia valoarea unu, adică traductorul de avarie la tensiune minimă F31 își activează contactul normal închis. Se folosește un contact normal închis pentru detectarea avariei pentru a se putea sesiza eventuale întreruperi ale liniei de transmisie a semnalului (fail safe).

Din locația 16 în care AAR este inițializat se poate selecta stația de lucru și stația de rezervă prin acționarea butoanelor de impuls S21 și S22 care trimit un semnal logic unu la intrările 101 și 102 ale AP (fig. IV.8.11). După declanșarea tranzițiilor corespunzătoare se trece în locațiile L1 respectiv L2.

Dacă s-a ales drept stație de lucru stația de alimentare numărul 1 (locația L1) se poate porni/opri alimentarea prin acționarea butoanelor de impuls S11/S13 care trimit semnale logice unu la intrările 107R01 ale AP (fig. IV.8.11). La pornirea stației 1 se activează L3. Această locație este interpretată de o acțiune care trimite semnalul logic unu la ieșirea Q1 a AP. Din fig. IV.8.11 rezultă că în această situație se activează releul K3 care conectează la stația 1 de alimentare întreruptorul Q11 prin acționarea contactului său K3 din circuitul 50, fig. IV.8.10. Cu această ocazie se observă că dacă întreruptorului i se transmit simultan semnale de conectare și deconectare, are prioritate deconectarea prrintr-o interblocare electrică realizată de contactul normal închis K4 din circuitul 50, fig. IV.8.11.

Din locația L3 se poate trece în L5 sau L11 atunci când apare una sau două avarii în amonte. Dacă traductorul de tensiune minimă F31 (fig. IV.8.9) acționează contactul său normal închis din circuitul 240 (fig. IV.8.13) se trimite un semnal logic zero la intrarea 105 a AP. În rețeaua Petri din fig. IV.8.12 acest semnal interpretează tranziția de la L3 la L5 prin intermediul timerului T3 după ce este negat și temporizat cu 0,3 s. Declanșarea acestei tranziții dezactivează L3 și activează simultan L5. În L5 se deconectează stația 1 de alimentare cu ajutorul întreruptorului Q11 prin trimiterea unui semnal logic unu la ieșirea Q2 a AP (fig. IV.8.11). Se acționează releul K4 care la rândul său

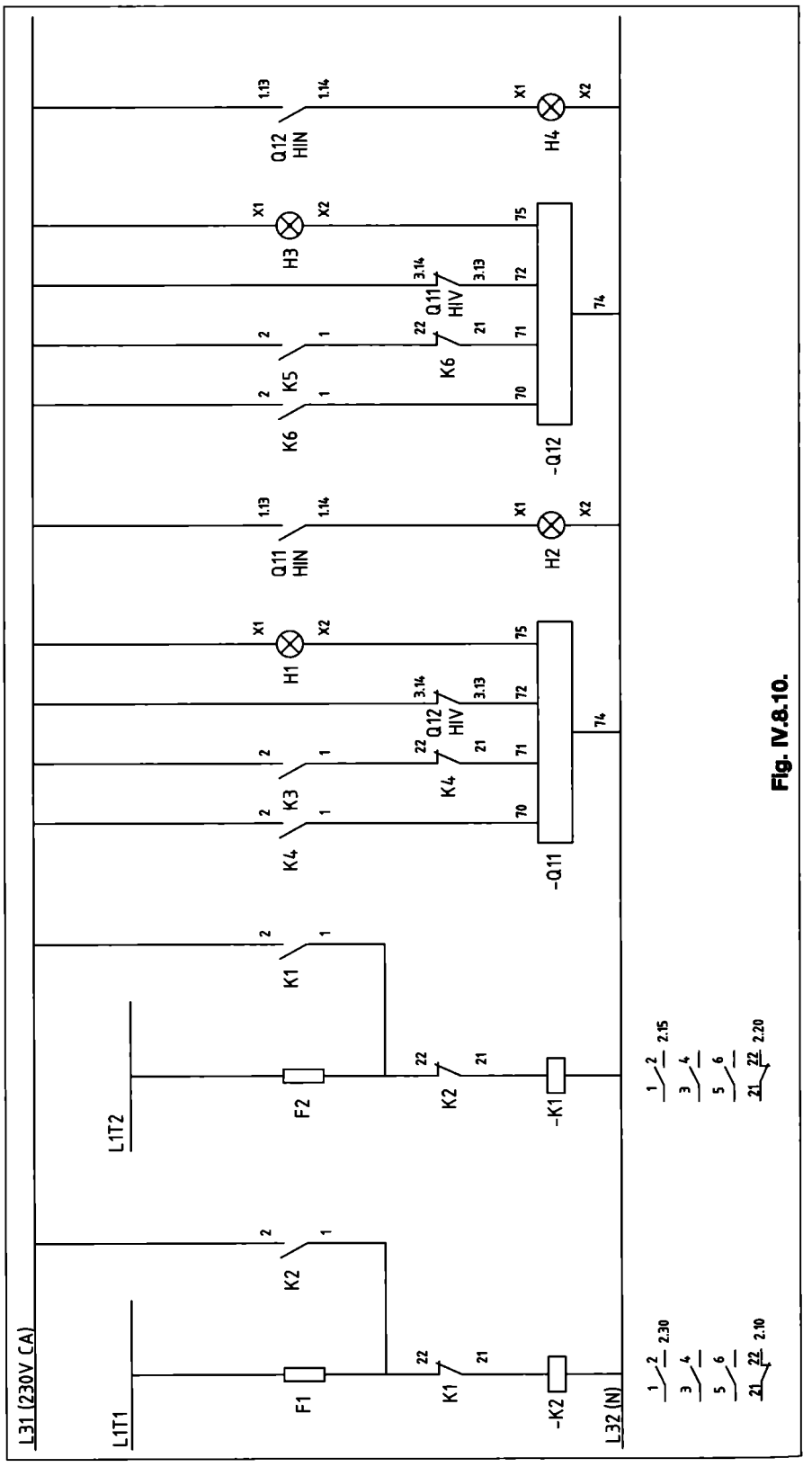


Fig. IV.8.10.

își acționează contactul său normal deschis în circuitul 40 (fig. IV.8.10). Atunci când întreruptorul Q11 s-a deconectat efectiv contactul său din circuitul 40 (fig.IV.8.10). Atunci când întreruptorul Q11 s-a deconectat efectiv contactul său din circuitul 220 (fig. IV.8.11) se închide și I03 = 1. Tranziția dintre L5 și L7 se declanșează, L5 se dezactivează, L7 se activează simultan, iar în consecință se conectează stația 2 de alimentare. Locația L7 este interpretată de Q3 care devine unu la activarea sa.

Dacă avaria din amonte dispare, adică tensiunea stației de alimentare 1 revine la normal mai mult de 0,3 s, atunci timerul T7 declanșează tranziția spre L9.

Tranziția dinspre locațiile L9 și L3 este interpretată de timerul T9 și în consecință se declanșează temporizat având loc reversarea la stația de alimentare numărul 1.

Apariția unei avarii în aval de întreruptorul Q11 este sesizată de către acesta și AAR trece din locațiile L3 sau L7 în locațiile L12.

Modul de funcționare al AAR în cazul selectării sursei 2 de alimentare drept

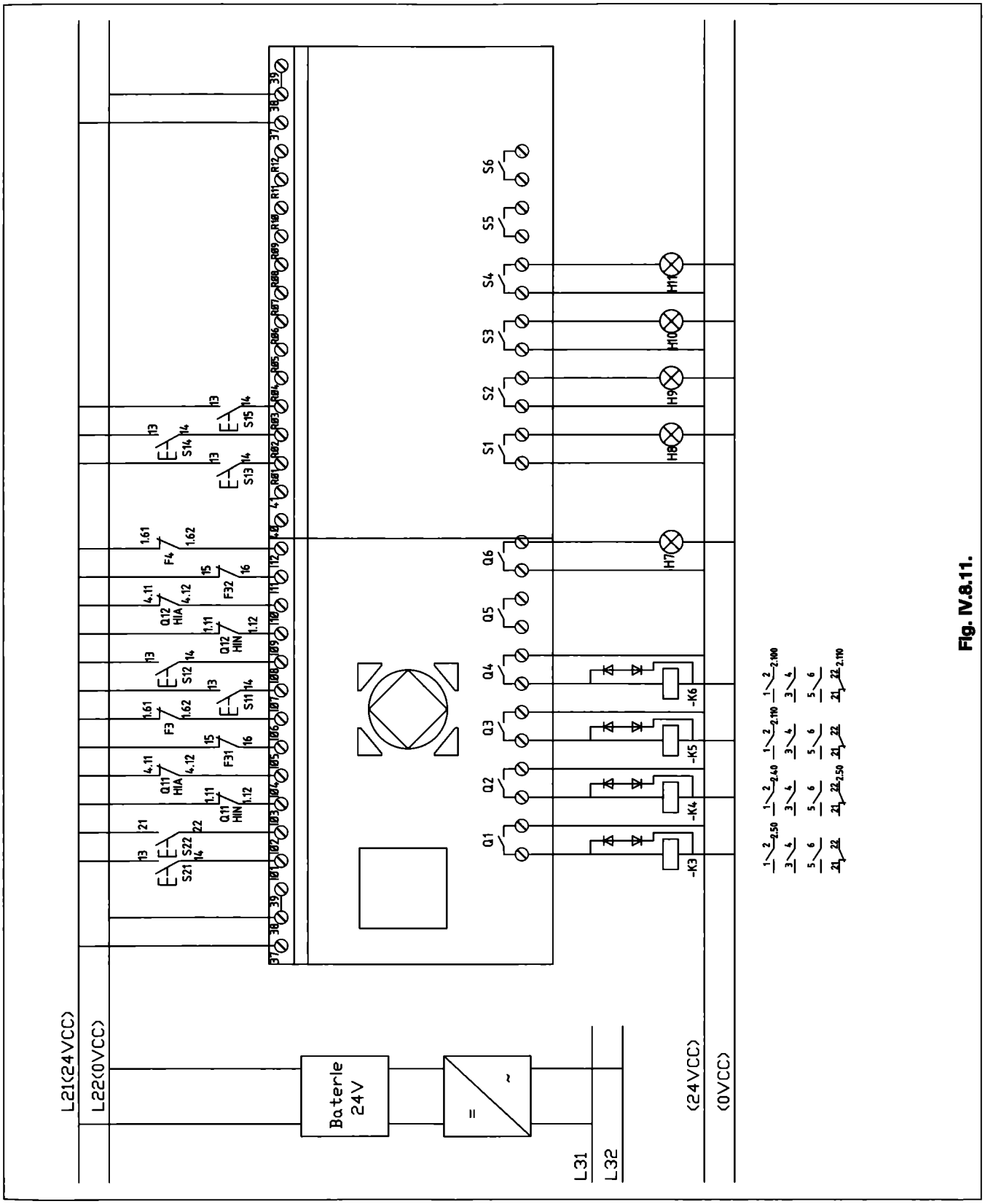


Fig. IV.8.11.

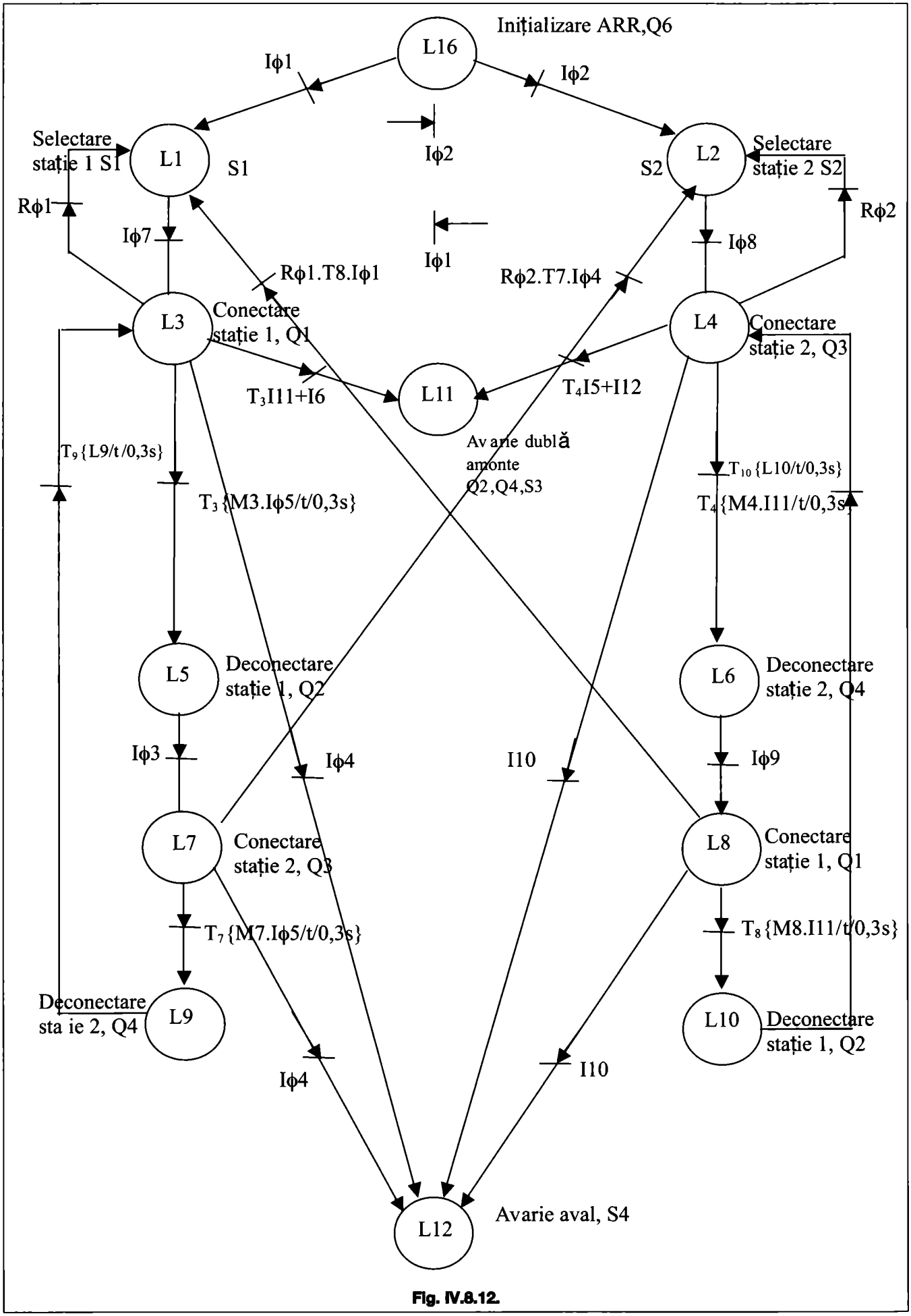

Inițializare ARR,Q6
L16
Iϕ1
Iϕ2
Selectare stație 1 S1
L1
S1
Iϕ2
S2
L2
Selectare stație 2 S2
Rϕ1
Rϕ2
Iϕ7
Iϕ1
Iϕ8
Rϕ1.T8.Iϕ1
Rϕ2.T7.Iϕ4
L3
Conectare stație 1, Q1
L4
Conectare stație 2, Q3
T3I11+I6
L11
T4I5+I12
Avarie dublă amonte Q2,Q4,S3
T9{L9/t/0,3s}
T3{M3.Iϕ5/t/0,3s}
T10{L10/t/0,3s}
T4{M4.I11/t/0,3s}
L5
Deconectare stație 1, Q2
L6
Deconectare stație 2, Q4
Iϕ3
Iϕ4
I10
Iϕ9
L7
Conectare stație 2, Q3
L8
Conectare stație 1, Q1
T7{M7.Iϕ5/t/0,3s}
T8{M8.I11/t/0,3s}
Deconectare sta ie 2, Q4
L9
L10
Deconectare stație 1, Q2
Iϕ4
I10
L12
Avarie aval, S4

Fig. IV.8.12.

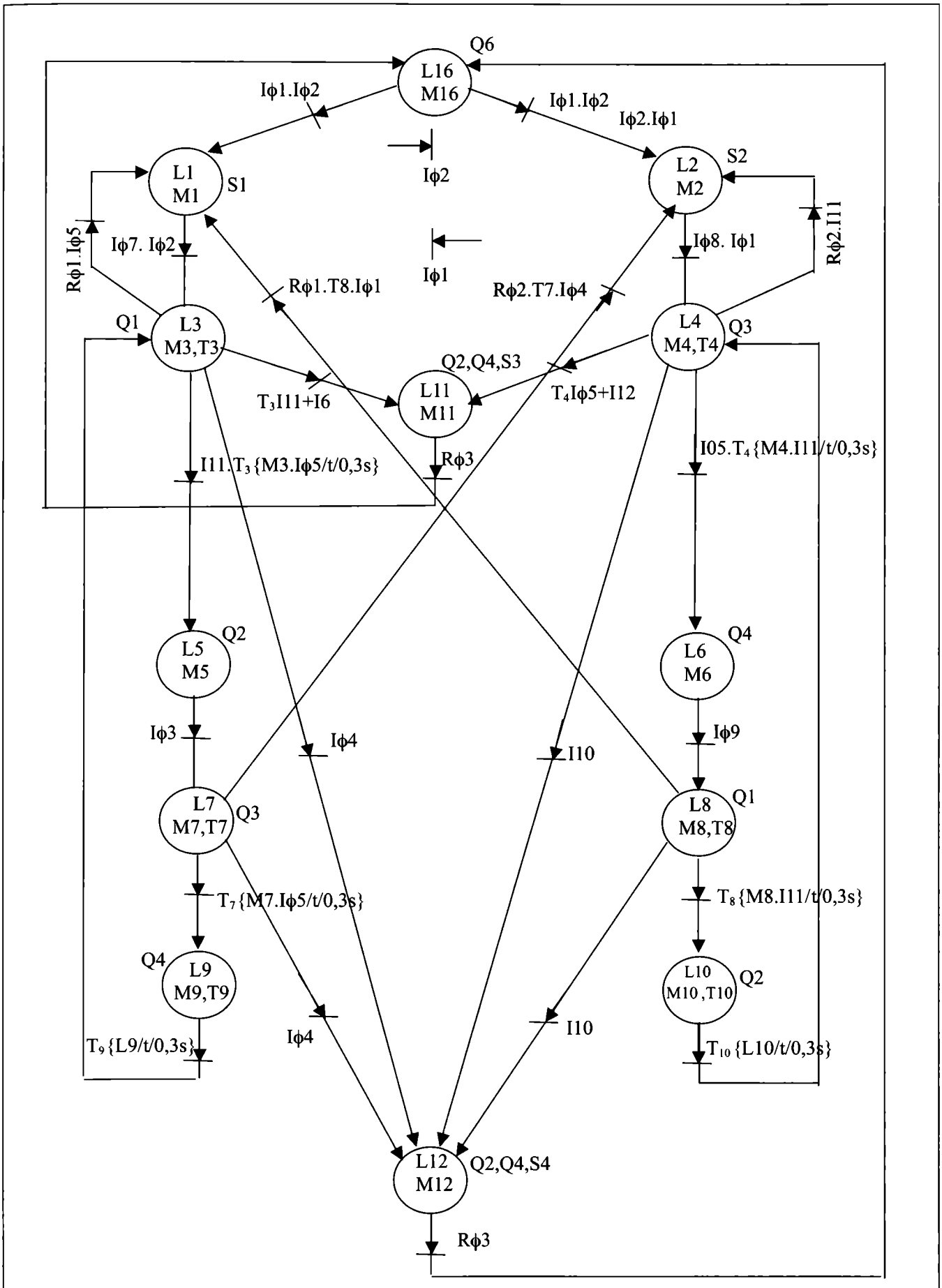

Q6
L16
M16
Iϕ1.Iϕ2
Iϕ1.Iϕ2
Iϕ2.Iϕ1
Iϕ2
L1
M1
S1
L2
M2
S2
Rϕ1.Iϕ5
Iϕ7. Iϕ2
Iϕ1
Iϕ8. Iϕ1
Rϕ2.I11
Rϕ1.T8.Iϕ1
Rϕ2.T7.Iϕ4
Q1
L3
M3,T3
L4
M4,T4
Q3
Q2,Q4,S3
T3I11+I6
L11
M11
T4Iϕ5+I12
I11.T3{M3.Iϕ5/t/0,3s}
Rϕ3
I05.T4{M4.I11/t/0,3s}
Q2
L5
M5
Q4
L6
M6
Iϕ3
Iϕ4
I10
Iϕ9
L7
M7,T7
Q3
L8
M8,T8
Q1
T7{M7.Iϕ5/t/0,3s}
T8{M8.I11/t/0,3s}
Q4
L9
M9,T9
L10
M10,T10
Q2
Iϕ4
I10
T9{L9/t/0,3s}
T10{L10/t/0,3s}
L12
M12
Q2,Q4,S4
Rϕ3

Fig. IV.8.13.

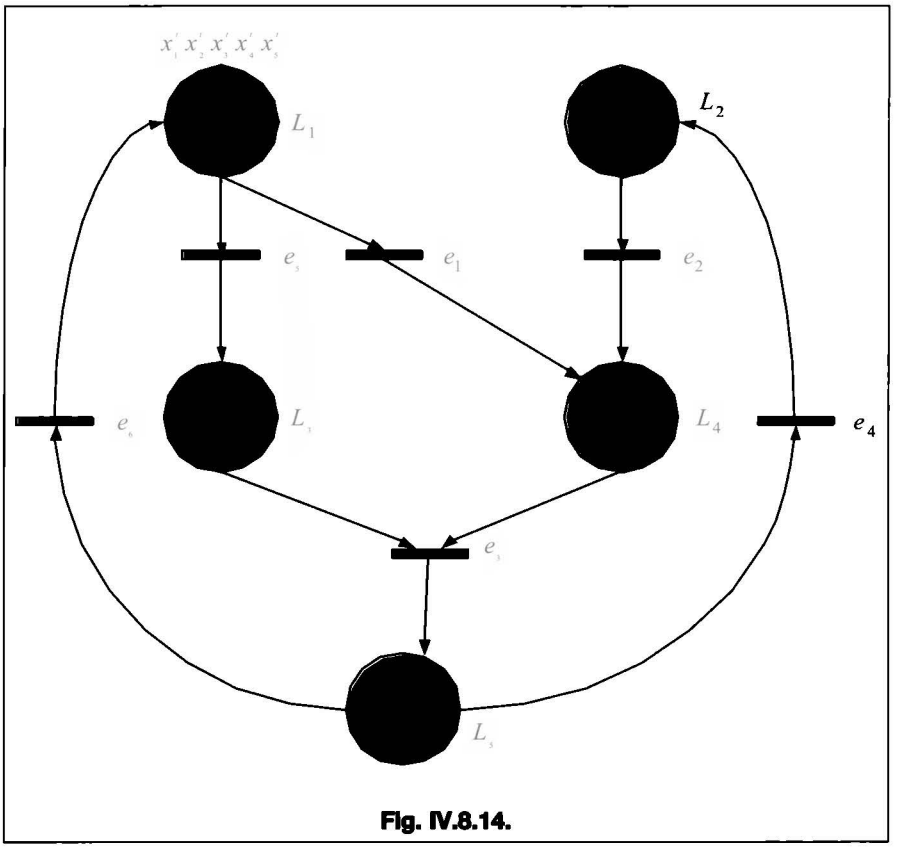


Fig. IV.8.14.

sursă de lucru, în care este activă locația L2, este asemănător deoarece rețeaua Petri este simetrică.

O performanță importantă a automatelor o constituie reversibilitatea, adică posibilitatea revenirii în oricare locație după un număr finit de tranziții. Rețeaua Petri din fig. IV.8.12 are o locație sursă L16 fără nici un arc de ieșire și două locații receptoare L11, L12 fără nici un arc de ieșire. Din această cauză rețeaua nu este reverssiblă. Pentru a obține această performanță se adaugă două arce suplimentare de la L11, respectiv L12 la L16. Tranzițiile care controlează deplasarea mărcilor pe aceste arce sunt interpretate de variabila logică R03 care ia valoarea logică unu atunci când este acționat butonul de inițializare S15 a AAr (fig. IV.8.11).

Inițializarea, adică activarea forțată a uneia sau mai multor locații, este o altă performanță a automatelor. În cazul AAR prin inițializare, acționarea butonului S15, trebuie să devină activă locația L16 indiferent de starea automatului. Realizarea acestei acțiuni s-ar traduce în rețeaua Petri din figura IV.8.12 prin introducerea unor arce cu tranziții interpretate de variabila logică R03 de la toate locațiile la locația L16. Deoarece prin introducerea acestor arce rețeaua Petri s-ar complica foarte mult am preferat să introducem inițializarea nu în caietul de sarcini ci în algoritmul de programare care va fi prezentat în continuare.

Pentru ca un automat să funcționeze într-un mod determinist este necesar ca în rețeaua Petri să nu existe conflicte structurale și efective. Aceste conflicte pot apărea dacă dintr-o locație pleacă mai mult de două arce șidacă tranzițiile corespunzătoare se declanșează în același timp. Conflictele structurale și efecti pot fi eliminate prin interblocare.

Rețeaua Petri pentru AAR, interpretată și temporizată, modificată astfel încât să fie asigurate reversibilitatea și eliminarea conflictelor structurale și efective se numește conformă și este prezentată în fig. IV.8.13.

Pentru implementarea automatelor descrise de rețele Petri interpretate, temporizate și conforme, rețele care corespund unei clase largi de grafceturi și automate finite (FSM) folosite în practică, am propus (10, 11, 3, 12) o metodă bazată pe folosireaaa automatelor elementare cu prioritate la pornire.

Metoda de implementare propusă necesită prelucrarea rețelei Petri pentru asigurarea caracterului său conform. Pentru aceasta, se fac modificările necesare pentru înlăturarea buclelor care produc degenerarea, pentru asigurarea repetabilității și viabilității și se elimină prin interblocare conflictele structurale efective. O astfel de rețea este prezentată în fig. IV.8.14. Se codifică distributiv locațiile și se atribuie fiecărui bit un automat elementar cu prioritate la pornire. În aceste condiții relațiile logice care asigură evoluția rețelei în timp este dată de următoarele relații logice:

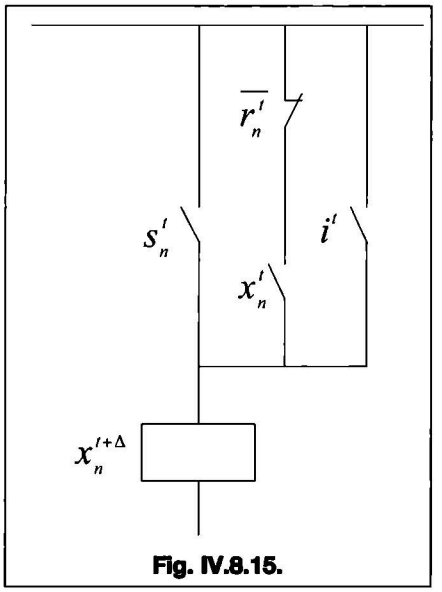


Fig. IV.8.15.

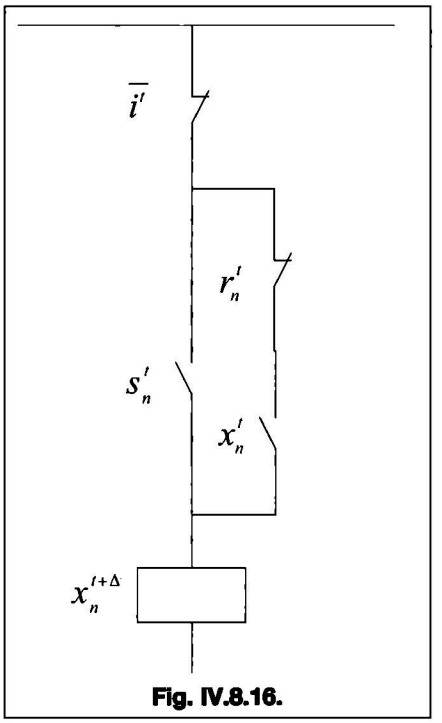


Fig. IV.8.16.

$$x_n^{t+\Delta} = \left(s_n^t + i^t\right) + \overline{r_n^t} x_n^t \qquad (8.5.1)$$

$$x_n^{t+\Delta} = s_n^t \overline{i^t} + \overline{\left(r_n^t + i^t\right)} x_n^t \qquad (8.5.2)$$

Prima relație (1) se referă la locațiile active inițial (L4 în fig. IV 8.14) iar a doua relație (2) este valabilă pentru locațiile inactive inițial. Variabilele logice au următoarea semnificație:

- i - condiția de inițializare a automatului;
- S_n - condiția de setare a bitului n;
- r_n - condiția de resetare a bitului n.

Implementarea relațiilor (1) și (2) printr-un program pentru AP elaborat sub forma LD (ladder diagram) este prezentată în fig. IV.8.15 și IV.8.16.

Condiția de setare a bitului caracteristic a unei locații este dată de declan-

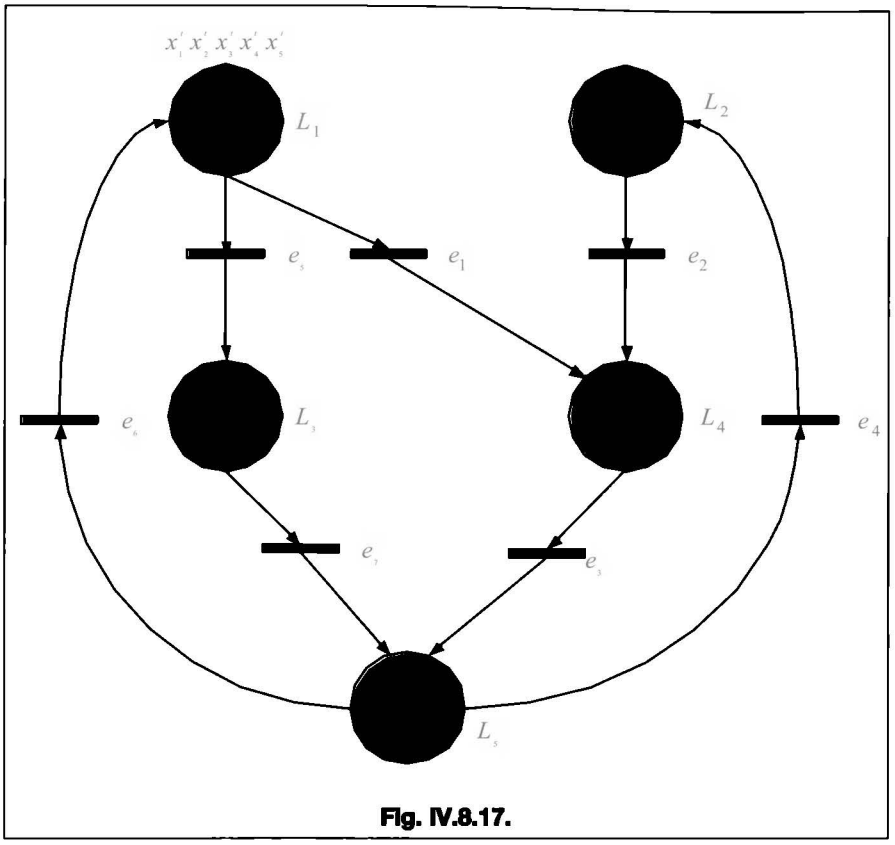


Fig. IV.8.17.

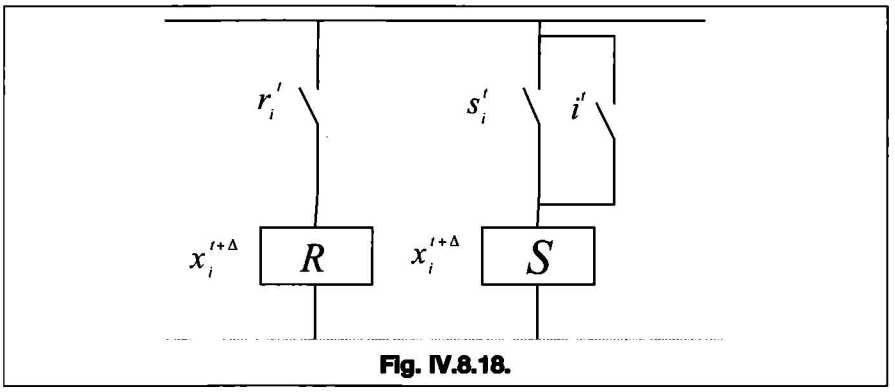


Fig. IV.8.18.

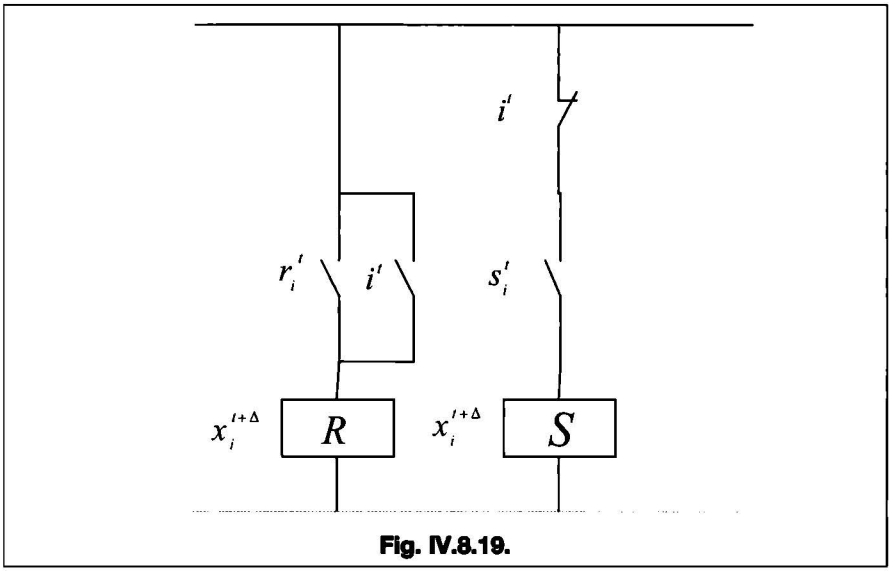


Fig. IV.8.19.

șarea tranzițiilor precedente iar condiția de resetare a aceluiași bit este dată de declanșarea locațiilor posterioare. Declanșarea unei tranziții are loc dacă este validată, adică toate locațiile precedente sunt active și condiția logică atașată are valoarea 1 (adevărat). Drept exemplu, să determinăm relația logică pentru locația L4 din fig. IV.8.14. Deoarece această locație este activă inițial se folosește relația (1). Condiția de setare este dată de declanșarea tranziției e1 sau e2 care sunt validate de locațiile L1 respectiv L2. Deci:

$$s_4 = x_1^t e_1 + x_2^t e_2 \qquad (8.5.3)$$

Condiția de resetare a bitului corespunzător locației L4 este dată de declanșarea tranziției e3 care este validată de locațiile L3 și L4.

$$r_4 = x_3^t x_4^t e_3 \qquad (8.5.4)$$

Se înlocuiesc condițiile de setare și resetare în relația (1) și se obține după aplicarea teoremei De Morgan.

$$x_4^t = x_1^t e_1 + x_2^t e_2 + \overline{x_3^t x_4^t e_3} x_4^t + i =$$
$$= x_1^t e_1 + x_2^t e_2 + \left(\overline{x_3^t} + \overline{e_3}\right) x_4^t + i \qquad (8.5.5)$$

O rețea Petri interpretată și conformă tip mașină de stare (fig. IV.8.16) este caracterizată de faptul că în fiecare tranziție intră și iese un singur arc. Dacă se folosește aceeași metodă se obține următoarea relație logică pentru bitul caracteristic locației L4.

$$x_4^t = x_1^t e_1 + x_2^t e_2 + \left(\overline{x_3^t e_3}\right) x_4^t + i =$$
$$= x_1^t e_1 + x_2^t e_2 + \overline{e_3 x_4} + i \qquad (8.5.6)$$

Se observă că pentru automate tip mașină de stare condiția de resetare nu mai necesită validarea pentru declanșarea tranziției posterioare. Această simplificare a metodei este importantă atunci când implementarea automatului se face cu automate programabile care folosesc automate elementare tip RS cu prioritate la pornire.

Automatele programabile posedă instrucțiuni care implementează automate elementare. Pentru folosirea acestor automate elementare la implementarea relațiilor (1) și (2) le transformăm în modul următor:

Relația (1) corespunzătoare locațiilor active inițial devine:

$$x_n^{t+\Delta} = \left(s_n^t + i^t\right) + \overline{r_n^t} x_n^t \qquad (8.5.7)$$

Implementarea sa cu un automat elementar SR cu prioritate la pornire apare în fig. IV. 8.18

Relația (2) corespunzătoare locațiilor inactive inițial o transformăm în felul următor:

$$x_n^{t+\Delta} = s_n^t \overline{i^t} + \overline{\left(r_n^t + i^t\right)} x_n^t \qquad (8.5.8)$$

Automatul elementar SR cu prioritate la pornire corespunzător apare în fig. IV.8.19.

Drept exemplu se determină condițiile de setare sn și resetare rn pentru lo-

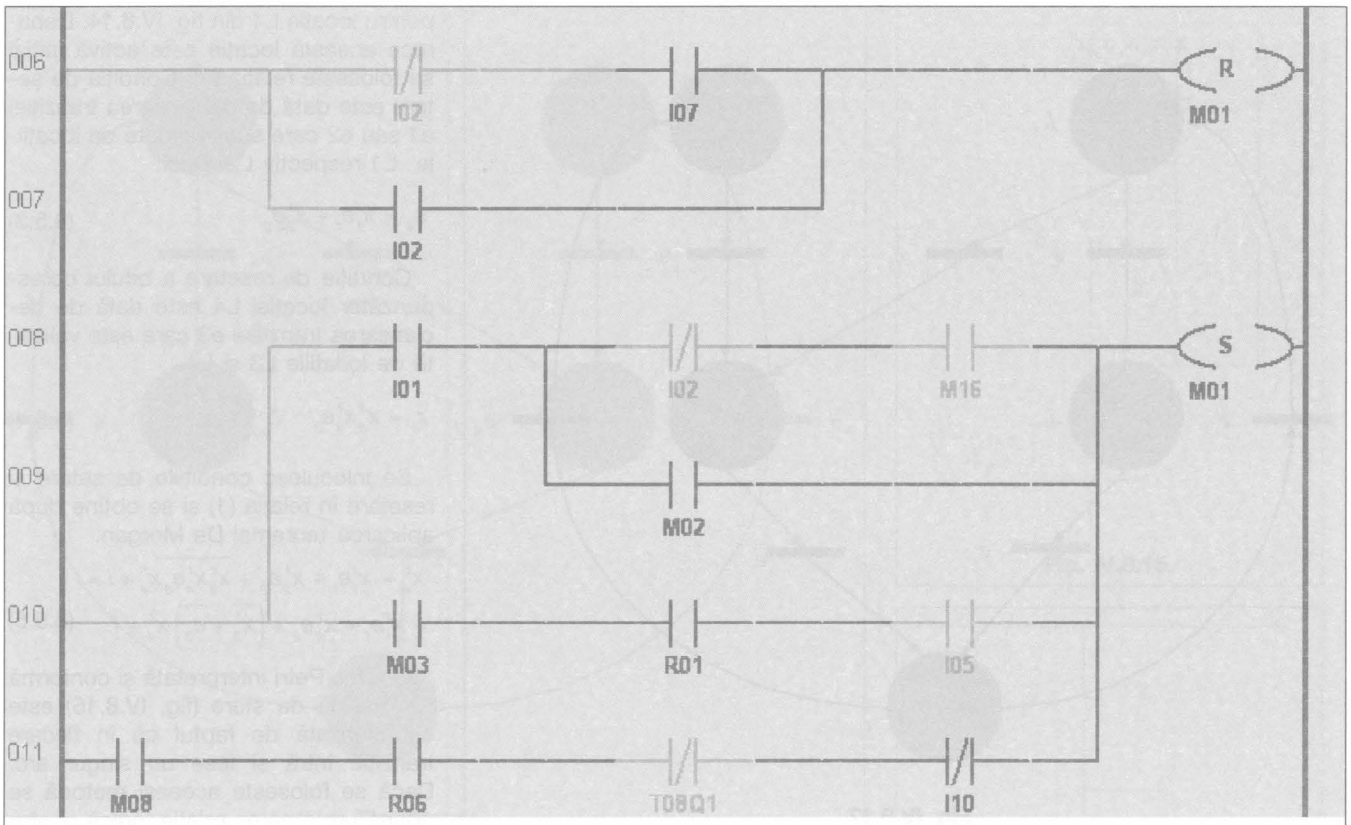


Fig. IV.8.20.

cația L1 inactivă inițial a automatului pentru anclanșarea rezervei AAR cu caietul de sarcini dat de rețeaua Petri interpretată, temporizată și conformă din fig. IV.8.13. Condiția de setare s1 ca locația L1 să fie activă, impune ca una dintre tranzițiile precedente să se declanșeze. O tranziție se declanșează dacă este validată, adică toate locațiile precedente sunt active, iar variabila logică ce o interpretează ia valoarea unu (adevărat). Locația L1 este accesată de patru arce în structură SAU, deci condiția sa de setare este:

$$s_1 = M_{16}I_{01}\overline{I_{02}} + M_2I_{01} + M_8R_{01}\overline{T_8}\overline{I_{10}} + M_3R_{01}I_{05} \quad (8.5.9)$$

Pentru calculul condiției de resetare r1 ținem seama de rezultatul obținut anterior referitor la automatele finite (FSM). Pentru acestea nu este neesară la calculul resetării validarea tranziției în vederea declanșării sale. Cu această observație constatăm că condiția de resetare r1 a locației L1 prin care aceasta devine inactivă, impune ca una din tranzițiile posterioare să se declanșeze. Din L1 pleacă două arce în structură SAU și deci condiția de resetare este:

$$r_1 = I_{07}\overline{I_{02}} + I_{02} \quad (8.5.10)$$

Instrucțiunile de program LD (ladder diagram) pentru automatul programabil corespunzătoare locației L1 se obțin introducând condițiile logice (9) și (10) în fig. IV.8.19. Se obține rezultatul din fig. IV.8.20 cu următoarele observații:

1. Programul LD a fost realizat de data aceasta sub formă de schemă desfășurată LD (ladder diagram) în fig. IV.8.20 conform specificațiilor standardului IEC 61131.3;
2. Microautomatul programabil permite un număr limitat la patru contacte într-un circuit. Folosind condiția de setare (9) în fig. IV.8.19, ar rezulta un circuit cu cinci contacte. Pentru a realiza totuși programul, am reunțat la butonul de inițializare i conectat la intrarea R03 a automatului. Acest buton va fi folosit numai la pornirea AAR prin activarea locației L1;
3. Inițializarea AAR se va face cu ajutorul butoanelor START/STOP al AP și pornirea AAR cu butonul i;
4. Prioritatea la pornire a automatului este asigurată de faptul că întâi se implementează în fig. IV.8.20 condiția de resetare și apoi condiția de setare;
5. Programul LD conform specificațiilor standardului IEC 61131.3 pentru AAR implementat pe un microautomat programabil este format din automate elementare de tipul celui din fig. IV.8.20 pentru toate locațiile din fig. IV.8.13.

Programarea automatelor programabile se poate face folosind aceeași metodă ca cea prezentată pentru microautomatele programabile și exemplificată în cazul automatului pentru anclanșarea rezervei. În acest caz, datorită resurselor crescute pe care le au automatele programabile, se renunță la restricțiile adoptate în cazul microautomatelor programabile.

IV. Automatizări

Capitolul 09
Sisteme domotice

9.1. Tehnologia informației (IT) pentru Clădiri Inteligente și domotică

9.1.1. Activități de dezvoltare

Conceptul de clădire inteligentă integrează contribuția mai multor agenți. Fig. IV.9.1.1 prezintă mai multe activități de dezvoltare asociate implementării conceptului de clădire inteligentă și care identifică trei grupuri importante, fiecare dintre ele asociate diferitelor grupuri de persoane, de la echipele de proiectare la utilizatori.

Primul grup, din vârful fig. IV.9.1.1, denumit "dezvoltare", este asociat cu dezvoltarea sistemului. Țelul acestui grup de activități este dublu: pe de o parte să asigure dezvoltarea unor subsisteme ce urmează să fie instalate în clădire, produse de grupuri de proiectanți și arhitecți și, pe de altă parte, să asigure ca aceste sub-sisteme să interacționeze astfel încât să se poată beneficia de interoperabilitatea lor.

Activitatea grupului de la bază, denumită „execuție", este responsabilă de operativitatea în timp real a sistemelor domotice. Principalii agenți care interacționează cu aceste sisteme includ managerii, proprietarii și utilizatorii.

Asigurând în mod convenabil legătura între cele două grupuri anterioare, se poate indentifica, la mijlocul fig. 1 grupul de „configurare". Activitățile în interiorul acestui grup sunt de o importanță esențială pentru suportul implementărilor incrementale, schimbărilor în clădire și reconfigurarea dinamică a resurselor clădirii.

9.1.2. Concepte de modelare pentru clădirile inteligente

Din punct de vedere general pot fi considerate două tipuri de obiecte:

- în primul grup, obiectul fundamental este specificația: aici, caracterizarea sistemului va fi îndeplinită dintr-un punct de vedere „extern", ca într-un „black-box" la care se cunosc numai intrările și ieșirile;
- în cel de-al doilea, obiectul specific este sprijinul proiectării/implementării. În acest caz este necesară cunoașterea în detaliu a caracteristicilor interne ale modelului.

În fig. IV.9.1.2, cele mai importante aspect (din punct de vedere al tehnologiei informației) sunt: comportamentul, funcționalitatea, structura și informația sistemului. Acestea trebuie văzute ca fiind complementarele unui același sistem complex, clădirea inteligentă, care permit susținerea specifică a unor activități de modelare, specificare, implementare și folosință.

Aspectul „funcțional" este un exemplu de „modelare pentru specificare", în carte aspectele "comportamental" și „structural" pot fi incluse în grupul „modelare pentru proiectare".

În aspectul „comportamental" sunt incluse toate modelele asociate controlului diferitelor dispozitive și resurse. Sistemele inserate „embedded" – pot fi de asemenea asociate.

În aspectul „funcțional" sunt incluse aspectele de descriere a activităților și proceselor sub forma unor liste de proceduri sau diagrame „data-flow".

Modelele despre date/informații sunt cuprinse în modulul „sisteme de informații".

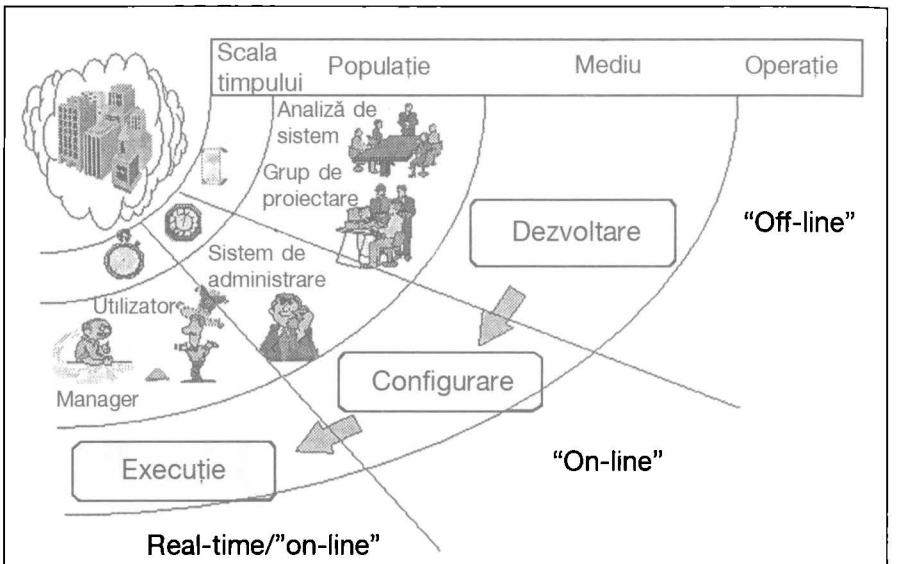


Fig. IV.9.1.1. Dezvoltarea activităților în interiorul conceptului de Clădire Inteligentă.

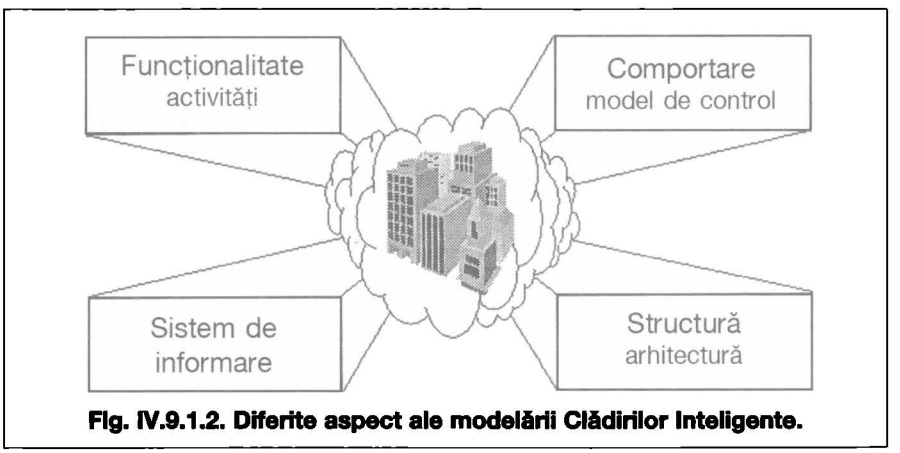


Fig. IV.9.1.2. Diferite aspect ale modelării Clădirilor Inteligente.

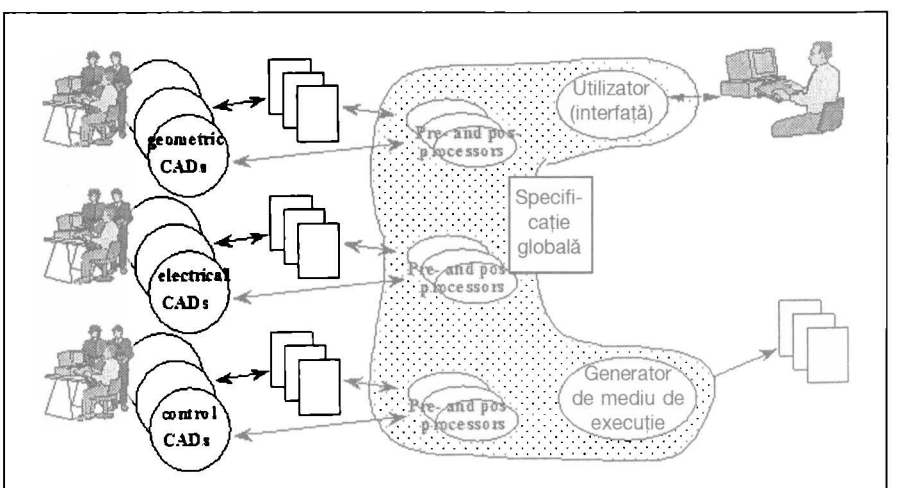


Fig. IV.9.1.3. Integrarea și dezvoltarea activităților care folosesc standarde și reprezentări europene.

9.1.3. Standarde utilizate

Conceptul de clădire inteligentă/ domotică este în mod intrinsec unul multidisciplinar. De aceea, este de aşteptat ca diferitele comunităţi incluse în diferite proiecte să aibă diferite concepte despre formalismele cele mai potrivite, precum şi despre modelele şi utilităţile care trebuie folosite.

Chiar dacă se utilizează diferite modele şi unelte, toate grupurile trebuie să contribuie la specificaţia globală a clădirii, aşa cum se prezintă în fig. IV.9.1.3, unde aplicaţiile specifice sunt integrate şi interoperabile.

9.2. Proiectarea sistemelor domotice

În zilele noastre, instrumentaţia, aparatele şi sistemele de automatizare în interiorul clădirilor nu pot fi concepute ca elemente independente, deoarece cerinţele referitoare la confortul indivizilor versus economisirea resurselor de energie cât şi programarea facilităţilor şi acţionarea la distanţă, sunt esenţiale în aplicaţii.

Dezvoltarea sistemelor de automatizare care să răspundă nevoilor "domestice" implică o concepţie unitară despre elementele hardware şi software, acestea generând funcţii specifice sau locale, de o complexitate relative redusă. Pe de altă parte elementele trebuie să fucţioneze împreună pentru a îndeplini funcţii globale la nivelul unei case sau clădiri.

Ţinând cont de elementele componente, sistemele pot fi clasificate în felul următor:
- Sisteme care implementează funcţii definite de un număr finit de stări;
- Sisteme care implementează regulatoare pentru controlul dimensiunilor;
- Sisteme complexe care implementează strategii de control;
- Sisterme inteligente, capabile să recunoască limbajele, mesajele, să se autoadapteze automat anumitor circumstanţe, să recunoască stările şi să răspundă în concordanţă cu ele.

Sistemele actuale distribuite au în componenţă microcontrolere sau microprocesoare care le generează funcţionalitatea: ele transmit şi preiau date de la protocoalele de comunicare, cu scopul de a-şi corela funcţiile cu cele ale sistemului integrat clădirii.

De la mijlocul secolului trecut a fost statuat principiul care stipulează că fiecare funcţie va fi implementată de propriul procesor, principiu care permite:
- o structură funcţională de aplicaţii;
- o dezvoltare separată de module hardware şi software;
- o integrare uşoară a unor interfeţe pentru:
  - reducerea costurilor de dezvoltare;
  - reducerea costurilor de producţie;
  - reducerea costurilor de mentenanţă.

În plus, prin definirea anumitor interfeţe ale sistemelor domotice este posibilă o recunoaştere automată a funcţiilor, astfel identificându-se o reţea de elemente adiţionale. Acest mecanism poate fi aplicat tuturor elementelor domotice şi sistemelor şi este denumit "plug and play".

În anumite situaţii este necesar pentru structurarea elementelor sistemelor domotice să se automodifice singure în mod automat, în interiorul ciclului lor de viaţă, pentru a obţine obiectele dorite într-o manieră optimă.

Astfel de sisteme, care pot să-şi modifice structura în interiorul funcţiilor lor, în scopul îndeplinirii anumitor criterii de optimizare sunt denumie "sisteme cu reconfigurare". În acest scop "programarea in-system" a acestor elemente a dobândit o importanţă sporită în sistemele domotice actuale.

Sistemele distribuite sunt de asemenea configurate către o ierarhie a elementelor constituente, fiecare grup de elemente fiind diferit activat pentru:
- implementarea funcţiilor locale;
- conducerea unui grup de funcţii;
- integrarea şi supervizarea activităţilor.

Totodată, există "sisteme dedicate" pentru ajustarea anumitor procese: sisteme care implementează confortul termic sau luminos, sisteme de supraveghere a unităţilor, sisteme care intervin în controlul echipamentelor audiovizuale, în accesul clădirilor şi pentru controlul comunicaţiilor.

Este esenţială pentru aceste sisteme intercomunicarea, ca un aspect optimal de îndeplinit.

Deoarece elementele sistemelor domotice sunt, în general, elemente programabile, mediile de programare şi limbajele de programare sunt mijloace utilizate în implementarea funcţionalităţii lor.

Acestea pot fi:
- Limbaje de programare de nivel scăzut, denumite "low level programming";
- Limbaje de programare de nivel mediu "medium level";
- Limbaje de programare de nivel înalt, "high level";
- Macro-limbaje, limbaje specializate diferitelor domenii, ca de exemplu XML (Extensible Markup Languaje);
- Limbaje formale (destinate pentru descrierea a ceea ce o aplicaţie sau un sistem trebuie să facă), ca de exemplu UML (Unified Modeling Language) sau VRML (Virtual Reality Modeling Language).

9.3. Sistemul EHS (European Home System)

ESH este un protocol de comunicaţie dedicat sistemelor Home Automation (automatizarea clădirilor – domoticii) care se concretizează printr-o nouă fază actuală: produse hardware şi software.

Specificitatea sistemului EHS a fost definită ca dedicată aplicaţiilor în clădiri, care pot comunica şi „împărţi" resursele existente. Protocolul European EHS este fundamentat pe o comunicare împărţită ("shared") şi funcţionalităţi ale dispozitivelor bine definite.

EHS precizează „physical layer", „data layer", „network layer" şi „application layer" în sistem (fig. IV.9.3.1).

Modelul urmează structura OSI (Open Standard Interconnection) ca şi model de referinţă.

Stratul „layer application" traduce limbajul într-un cadru de date, capabile să circule în reţea.

„Data link layer"-ul, separat în două substraturi, "Medium Acces Control" (MAC) şi Logical Link Control (LLC), manevrează conversia fluxului de biţi, regulile de acces către reţea, recunoaşterea cadrelor şi produce înţelegerea şi repetiţia acestui mecanism.

„Network layer" (stratul de reţea) este

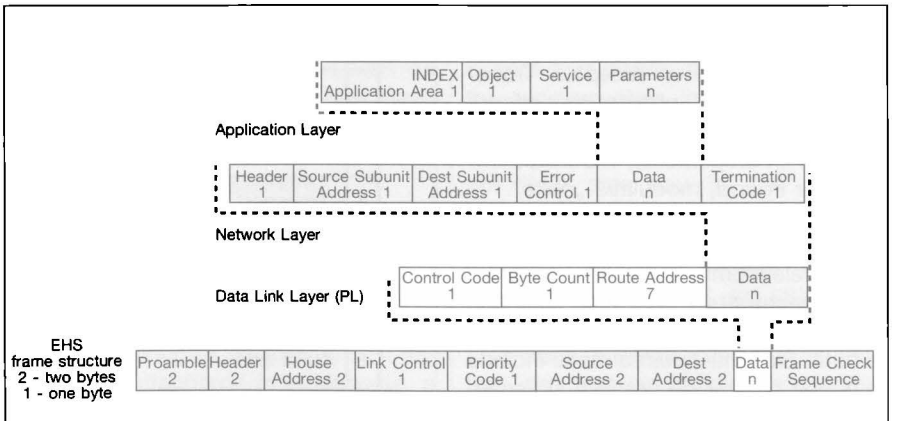


Fig. IV.9.3.1. Nivele de procesare a mesajelor în cazul unui protocol EHS.

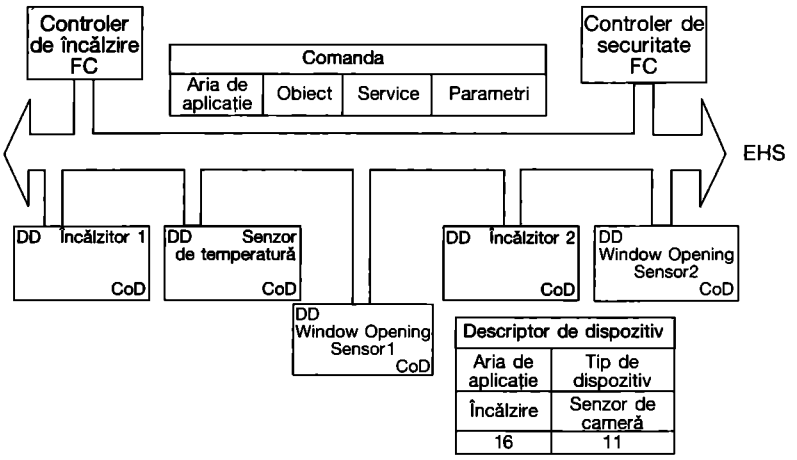


Fig. IV.9.3.2. Structura comenzilor într-un EHS, corespunzând unui DD.

identic pentru toate unitățile componente ale EHS și conduce datele către rută (adresele care accesează o unitate din mai multe sub-straturi).

Arhitectura unei rețele EHS se bazează pe controlere și dispozitive conectate în diferite domenii.

Controlerul denumit „feature controller" (FC) controlează aplicația domotică și produce programe și inteligență pentru aplicație ca, de exemplu, resurse de monitorizare, algoritmi de control sau de luare a deciziilor în procesul condus.

Un dispozitiv produce și conduce resursele aplicate. De exemplu, un sistem de încălzire electric conduce resursele de încălzire, un termostat stabilește pragul de temperatură. În general, un dispozitiv aparține unui domeniu de aplicațe, dar poate fi împărțită de mai multe controlere.

Fiecare dispozitiv este descris de un Device Descriptor (DD). Toate dispozitivele care au același DD sunt interșanjabile (fig. IV.9.3.2).

9.4. Principii, tehnici și modele pentru comunicația în sistemele domotice

Orice sistem de transmisie a informației implică un emițător (sursa de informație) care furnizează mesaje, un canal de comunicație și un receptor. Transmisia informației presupune diferite tehnici de comunicație: modulația impulsurilor în amplitudine, modulația impulsurilor în cod, modulația „delta".

Un sistem de transmisie la distanță a datelor, cunoscut și sub denumirea de sistem teleinformatic, este un ansamblu arhitectural de echipamente inteligente conectate între ele prin legături de date. Sistemul teleinformatic include un număr arbitrar de procese și fiecare proces este condus de un echipament de automatizare propriu, care are una sau mai multe interfețe de legătură cu rețeaua de comunicație. Comunicația între procese se efectuează prin mesaje, având ca suport un subsistem de comunicație distribuit. Arhitectura sistemelor teleinformatice este modulară și structurată ierarhic.

Canalele pentru transmisia informației, de obicei, sunt linii de comunicație pe fire metalice, fibre optice sau radio.

Tehnicile de comunicație specifice pentru transmisia datelor prin linii metalice, în ordinea apariției, sunt următoarele: comutarea de circuite, de mesaje și de pachete.

Modelarea este o metodă de studiu a sistemelor complexe, greu accesibile cercetării directe, cu ajutorul unor modele teoretice sau materiale, cu care respectivele sisteme prezintă o analogie.

Modelul topologic al unui sistem teleinformatic este un prag neorientat G = (N,R), în care nodurile (vârfurile) N reprezintă echipamentele inteligente, iar arcele (ramurile, legăturile) R reprezintă legăturile de comunicație.

Configurațiile cele mai răspândite sunt: rețea în stea, rețea în linie, rețea arborescentă, rețea în inel, rețea în plasă.

Modelul structural are rolul de a evidenția repartizarea funcțiilor între diferite componente ale sistemului teleinformatic.

Modelul arhitectural. Din cauza complexității lor deosebite, sistemele teleinformatice au fost concepute și proiectate într-o manieră ierarhică, cu o serie de niveluri, fiecare fiind construit pe baza nivelului inferior.

Modelul interconectării sistemelor deschise (OSI - Open Systems Interconnectation), dezvoltat în cadrul Organizației Internaționale de Standardizare (ISO - International Standards Organizations), se referă la procesele de software care permit schimbul de informații între sisteme diferite, în principal, pentru legarea echipamentelor inteligente în rețele. S-a constatat necesitatea organizării unei ierarhii de procese, între care legăturile se asigură standardizat de jos în sus.

Modelul arhitectural ISO-OSI este proiectat în ideea stabilirii cadrului de coordonare a dezvoltării standardelor existente și viitoare pentru interconectarea sistemelor (fig. IV.9.4.1).

Sistemele de conducere distribuite (așa cum este cazul instalațiilor din clădiri) sunt sisteme deschise, la care se pot conecta, respectiv deconecta, alte sisteme. Modelul de referință propus de standardul ISO 7498, descrie șapte niveluri pe care trebuie asigurată compatibilitatea între două sisteme interconectate (fig. IV 9.4.1), corespunzătoare celor șapte funcții care intervin în comunicația dintre sisteme.

9.5. Structura sistemelor domotice, magistrale, rețele și standarde de comunicație

Tehnicile actuale de conducere a proceselor au condus la utilizarea unor sisteme numerice de prelucrare a informației cum ar fi regulatoarele numerice, automatele programabile, calculatoarele de proces, sistemele multiprocesor, care ridică problema transferului de date, sub forma numerică, între aceste

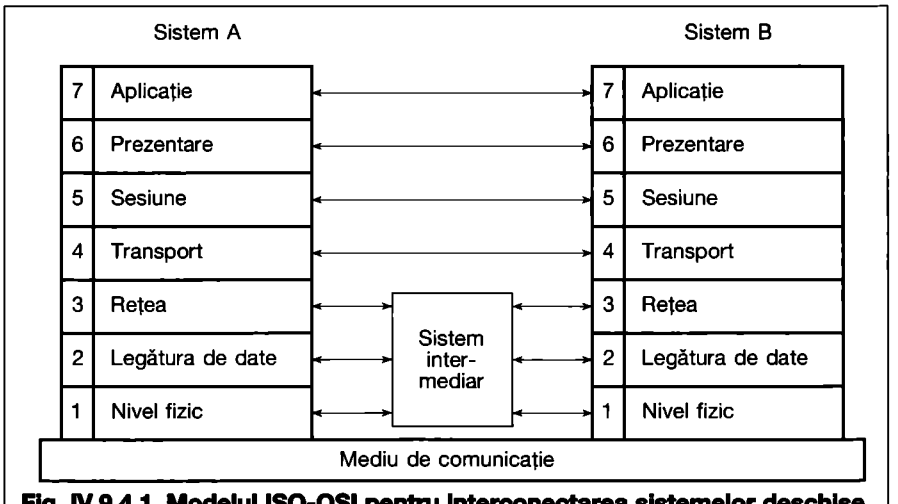


Fig. IV.9.4.1. Modelul ISO-OSI pentru interconectarea sistemelor deschise.

echipamente. Sistemul de transmisie de date va avea o structură ierarhizată, care va urmări structura ierarhizată de conducere a procesului.

Progresele din microelectronică, realizarea dispozitivelor cu un înalt grad de integrare, determină pătrunderea tehnicii numerice în achiziția și prelucrarea informației la nivelul procesului, înlocuind rapid adaptoarele soluției „sistem unificat". Structurile inteligente, programabile, care iau locul adaptoarelor sunt robuste și mult mai bine adaptate la condițiile din proces, motiv pentru care sunt denumite frecvent „echipamente de câmp". Aceste echipamente sunt conectate între ele pe o magistrală serială, numită magistrală de proces sau magistrală de câmp (fieldbus).

Un sistem ierarhizat de conducere și transmisie de date cu o structură, care poate satisface aplicații de mare complexitate, poate fi structurat pe patru niveluri.

Nivelul proces/aparatură de câmp este nivelul la care are loc achiziția de date de la traductoare și se trimit comenzi spre elementele de execuție.

Nivelul producție/fabricație grupează echipamente de conducere a proceselor care se interconectează prin rețele locale (LAN - Local Area Network). Echipamentele interconectate sunt automate programabile, echipamente de conducere numerică, regulatoare numerice, calculatoare de proces.

Nivelul conducere/gestiune asigură conectarea între ele a diferitelor rețele existente la nivelul producție/fabricație.

Nivelul supervizare este un nivel utilizat numai în cazul aplicațiilor complexe și transmisia are loc, în general, la distanțe mari.

Sistemele de conducere ierarhizată s-au impus și în automatizarea instalațiilor din clădiri, încât ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers) a elaborat un standard pentru o rețea dedicată automatizării instalațiilor din clădiri, rețea care poartă numele de BACNet. Echipamentele de conducere din rețea sunt conectate printr-o magistrală de câmp realizată conform acestui standard.

Soluții standard pentru comunicația la nivelul proces

• Firma INTEL a elaborat specificația BITBUS Interconnect Specification, care propune o metodă de conectare la calculator a echipamentelor de conducere dedicate și a echipamentelor de achiziție a datelor din proces. Metoda bazată pe comunicația serială la viteză ridicată între echipamentele inteligente plasate chiar în proces, conduce la elaborarea de sisteme distribuite, care, datorită realizărilor în domeniul microelectronicii, permit performanțe sporite la prețuri mai mici.

Magistrala BITBUS este definită ca o magistrală serială de mare viteză pentru sisteme ierarhizate. În ceea ce privește controlul accesului la magistrala BITBUS se disting două modele:
- modelul ierarhic cu un singur nivel al magistralei, care conține un singur echipament master ce comunică cu mai multe echipamente slave;
- modelul ierarhic multinivel.

Din punctul de vedere electric, magistrala BITBUS este concepută în acord cu prevederile standardului EIA RS-485, care permite conectarea pe două fire torsadate a unui număr de cel mult 32 de echipamente.

• PROFIBUS (PROcess Fleld BUS) este o normă industrială germană (DIN 19245), care conduce la asigurarea comunicației într-o concepție unitară pentru întregul spectru de aplicații de la nivelul procesului independent de aplicație.

Serviciile în magistrala PROFIBUS sunt structurate pe trei niveluri: nivelul fizic, nivelul legătură de date și nivelul aplicației. Arhitectura magistralei PROFIBUS este în acord cu modelul de referință ISO-OSI pentru magistralele de câmp.

Participanții conectați la magistrala PROFIBUS pot fi participanți activi (asigură controlul accesului la magistrală) sau participanți pasivi (fără controlul accesului la magistrală).

Comunicația în rețeua PROFIBUS se efectuează conform standardului EIA RS-485, iar codificarea informației este de tip NRZ (nonreturn to zero). În acest caz structura magistralei este liniară, mediul de comunicație este cablul bifilar torsadat sau ecranat, care permite interconectarea a maximum 32 de participanți pe un segment (tronson) al magistralei, fără a utiliza amplificatoare de linie (repetoare). Dacă se utilizează repetoare, atunci numărul participanților poate crește până la 127. Lungimea magistralei PROFIBUS este de maximum 1200 m, atunci când nu se utilizează repetoare și de 4,8 km, atunci când se utilizează repetoare.

Una din aplicațiile tipice de sisteme informatice, la nivelul fabricației, este rețeaua de automate programabile.

Standardul de comunicație PROFIBUS, datorită tehnicii de transmisie simple (semiduplex asincronă) și a alinierii lui la standarde internaționale, a depășit nivelul de standard național al Germaniei, fiind acceptat și de firme din alte țări. Este aliniat la standardele

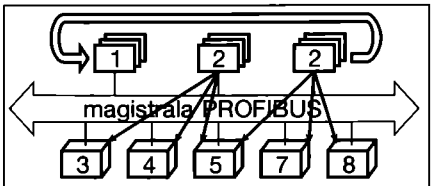


Fig. IV.9.5.1 Accesul la magistrală prin metoda hibridă în standardul PROFIBUS.

internaționale existente, deoarece arhitectura magistralei are la bază modelul de referință ISO-OSI al unei rețele locale ISO 7498.

În standardul PROFIBUS, participanții la comunicația în rețea, care au din punctul de vedere al sistemului de automatizare o complexitate mare sau medie, pot avea controlul accesului la magistrală și se numesc stații active. Atunci când există o singură stație activă în rețea, accesul la magistrală este de tipul master/slave cu polling central. În al doilea caz, când există mai multe stații active în rețea, metoda accesului la magistrală este hibridă (fig. IV.9.5.1):
• token ring (deplasarea în inel a jetonului) între stațiile active;
• master/slave între stațiile active și cele pasive.

Sistemele de conducere distribuite în general și sistemele distribuite din domeniul construcțiilor în special, folosesc pentru comunicație interfață serială. Dezavantajul unui timp mai mare pentru efectuarea transmisiei este compensat de numărul redus de fire și prețul mic al cablului, care nu necesită tehnologie specială de realizare. Standardele folosite pentru interfețele seriale sunt RS-232C, RS-422, RS-423, RS-485.

Pentru firme specializate (STAEFA CONTROL SYSTEM, HONEYWELL, JOHNSON CONTROLS, LANDIS & GYR, SATCHWELL etc.), singurul mod de comunicație folosit este cel serial, conform standardului RS-485.

9.6. Sisteme domotice specializate

În cazul clădirilor, sistemele de conducere sunt distribuite și distanțele dintre echipamentele inteligente sunt de ordinul sutelor de metri. Din punctul de vedere al topologiei, modelele adoptate pot fi în stea sau în inel. Modelul structural este de tipul rețea de calculatoare, iar modelul arhitectural este stratificat pe șapte niveluri, conform modelului de referință ISO-OSI pentru sistemele deschise.

Arhitectura reprezentativă a unui sistem de gestiune tehnică a clădirilor este prezentată în fig. IV.9.6.1.

La nivelul instalațiilor automatizate se află echipamentele specifice clădirilor

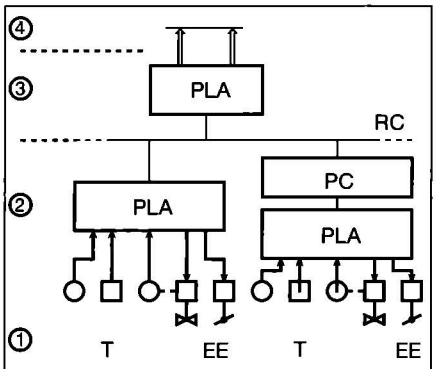


Fig. IV.9.6.1 Sistem de conducere ierarhizată a instalațiilor din clădiri. Structura generală.
1 - echipamente; 2 - automatizare locală; 3 - gestiune tehnică; 4 - utilizator; T - traductoare; EE - elemente de execuție; PLA - post local de automatizare; RC - rețea de comunicație; PC - procesor de comunicație

cum ar fi: cazanele, schimbătoarele de căldură, sistemul de distribuție al agentului termic, sistemul de alimentare cu energie electrică și cel de iluminat, stațiile de hidrofor, dispozitivele de contorizare a consumurilor de energie, grupurile electrogene, sistemele de supraveghere și alarmare la incendii etc.

Nivelul automatizării locale poate fi implementat cu echipamente specializate sau cu automate programabile și funcționează independent cu nivelul trei. Nivelul doi asigură conducerea proceselor grupate la posturile locale de automatizare.

Nivelul gestiunii tehnice este dotat, de obicei, cu un calculator numeric.

Nivelul utilizator este rezervat personalului de exploatare și întreținere a clădirii, care este informat permanent despre starea de funcționare a instalațiilor. La acest nivel se iau deciziile privitoare la regimul de exploatare a clădirii.

Pornind de la concepția generală a sistemului de conducere, prezentată în fig. IV.9.6.2, se prezintă două structuri care sunt adoptate de firmele specializate în acest domeniu.

Prima structură de sistem este prezentată în fig. IV.9.6.3, în care elementele componente au următoarea semnificație:

1 - adaptor de magistrală, care asigură conversia semnalelor din standardul RS-232 în standardul RS 485, pentru transmisie de date până la 1200 m;
2 - interfață care asigură transferul datelor între echipamentul local și echipamentul de supervizare;
3 - automat logic pentru conducerea secvențială a procesului;
4 - regulator numeric multicanal.

Sistemul este ierarhizat pe trei niveluri astfel:

- nivelul inferior conține echipamentele de automatizare locală a proceselor, formate din automate logice și regulatoare numerice;
- nivelul doi este rezervat comunicației; este constituit din supervizorul (controlorul) la care se conectează toate echipamentele locale și din interfețele 1 și 2 pentru transferul datelor între supervizor și echipamentele locale; la supervizor se pot conecta și alte rețele locale LAN A, LAN B.
- nivelul superior corespunde postului central format dintr-un calculator personal dotat cu software-ul adecvat.

Modulul regulator numeric (4), din figură, poate fi conectat direct la interfața (2) proprie formând un singur echipament, sau poate fi desprins și utilizat local pentru conducerea procesului. În acest al doilea caz, fiecare regulator se conectează la magistrala proprie regulatoarelor printr-un adaptor/convertor RS-232/RS-485 și întreaga rețea de regulatoare numerice este conectată la supervizor numai printr-o singură interfață (2).

Dacă, în anumite aplicații, este necesară utilizarea mai multor supervizoare conectate în rețea, atunci lungimea maximă a liniei între primul și ultimul supervizor nu poate depăși 1200 m. Pentru distanțe mai mari se folosesc modem-uri. De asemenea, dacă distanța dintre postul central și supervizor este mai mare de 15 m, transmisia serială a datelor nu se mai poate realiza conform standardului RS-232, fiind necesar și aici adaptorul RS-232/RS-485. Cea de-a doua variantă de implementare a sistemului de conducere a instalațiilor din clădiri este prezentată în fig. IV.9.6.3.

Echipamentele de conducere locală exercită controlul asupra proceselor prin intermediul modulelor de intrare/ieșire. În funcție de complexitatea procesului, sertarul electronic conține numărul adecvat de module intrare/ieșire și un modul de comunicație cu nivelul superior. Schimbul de informație între sertarele cu module intrare/ieșire și echipamentul de conducere locală

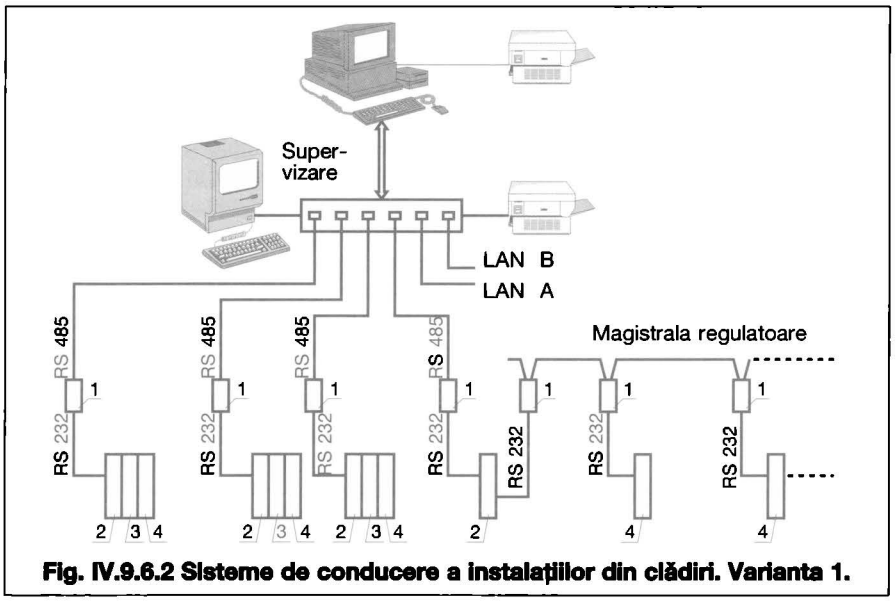


Fig. IV.9.6.2 Sisteme de conducere a instalațiilor din clădiri. Varianta 1.

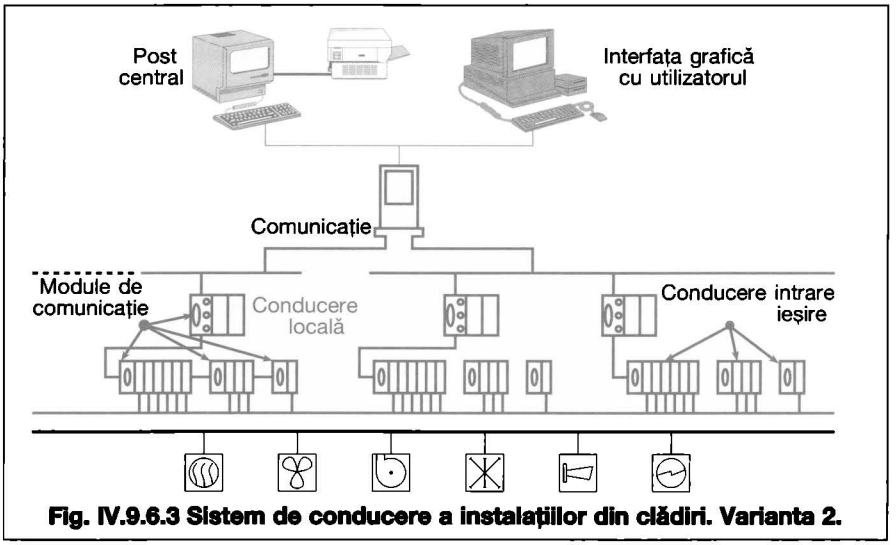


Fig. IV.9.6.3 Sistem de conducere a instalațiilor din clădiri. Varianta 2.

coordonator se efectuează pe o magistrală PROFIBUS, conform standardului specific.

Echipamentul de conducere locală îndeplinește o serie de funcții, dintre care se pot menționa:

- programare orară (săptămânală, zilnică, specială etc.);
- reglări ale parametrilor din proces (chiar și reglare adaptivă);
- optimizarea consumurilor energetice;
- memorarea datelor semnificative din proces și administrarea bazei de date;
- rapoarte de funcționare a instalației (stări normale sau anormale, alarme, mărimi logice, analogice sau numerice etc.);
- tratarea situației create la întreruperea accidentală a tensiunii de alimentare și reluarea funcționării la restabilirea alimentării cu energie;
- comunicația cu rețeaua subordonată și cu echipamentul de supraveghere centralizată la nivelul ierarhic superior.

Topologia rețelelor locale respectă metodele topologice ale sistemelor teleinformatice. Echipamentele „inteligente" conectate în rețea trebuie să comunice între ele, fapt pentru care este necesară o conexiune fizică și o conexiune logică. Se utilizează de obicei protocoale dinamice, care permit alocarea canalului de comunicație numai utilizatorului care solicită acest lucru.

9.7. Sistem integrat pentru conducerea ierarhizată a instalațiilor din clădiri

Creșterea gradului de complexitate a proceselor tehnologice, corelată cu necesitatea optimizării regimurilor de funcționare, impun tot mai mult soluții moderne în automatizarea acestora, atât în ceea ce privește aspectele conceptuale, cât și în ceea ce privește aspectele aplicative. Modalitatea ideală pentru îndeplinirea obiectivelor care revin sistemelor de conducere automată este organizarea acestor sisteme în structuri ierarhizate, ce satisface exigențele actuale din automatizarea instalațiilor.

Un sistem de conducere ierarhizată este un sistem la care sarcinile de conducere sunt distribuite pe mai multe niveluri sau structuri.

În continuare, se prezintă o soluție de sistem ierarhizat specializat pentru conducerea instalațiilor din clădiri (fig. IV.9.7.1.).

Orice clădire modernă, de dimensiuni medii și mari, de o anumită importanță socială (hoteluri, spitale, școli, clădiri administrative, centre de afaceri etc.) trebuie dotată minimal cu instalație de încălzire automatizată, instalație împotriva pătrunderii prin efracție și pentru controlul accesului, instalație de supraveghere și alarmare la incendii și, în anumite cazuri (hoteluri, spitale), cu instalație de asigurare și monitorizare a serviciilor în camere sau saloane.

Sistemul propus se remarcă prin faptul că permite integrarea în sistem a unor automate programabile sau a unor automate specializate, care pot proveni de la firme producătoare diferite sau din generații diferite, cu condiția ca acestea să fie aliniate la standardele de comunicație pe magistralele sistemului ierarhizat și la protocoalele de comunicație adoptate în sistem. În vederea comunicației între automate și calculatorul de la nivelul ierarhic superior, programarea automatelor, cât și conceperea driverilor software pentru calculator, se vor adopta distinct, ținând seama de particularitățile echipamentelor care se angajează la dialog (calculator - automat).

În mod obișnuit, un PC este capabil să comunice serial pe patru porturi. Din acest motiv, în structura propusă, calculatorul comunică cu două echipamente specializate (antiefracție și siguranță contra incendiilor), cu un automat programabil puternic configurat încât să asigure conduceri secvențiale, reglări, comunicații și cu o rețea locală de automate programabile (exemplu rețeaua PROFIBUS).

Sistemul ierarhizat propus poate fi constituit dintr-o mare diversitate de echipamente de automatizare, care dispun de funcțiile de bază pentru conducerea automată și pentru comunicație. Pentru fiecare clădire supusă automatizării, configurația sistemului poate dobândi forme particulare, însă nu se poate îndepărta prea mult de structura din fig. IV.9.7.1. Acest sistem poate fi construit cu un efort financiar redus, deoarece poate prelua, parțial, automatizarea existentă în clădire și poate fi dezvoltat pe etape.

Argumentele prezentate până aici au stat la baza utilizării termenului „integrat" pentru sistemul de conducere propus.

Între nivelurile de automatizare și supraveghere/gestiune, distanțele la care se efectuează transmisia informației pot atinge maxim 1200 m (RS-485).

Structura prevăzută în fig. IV.9.7.1 se detaliază prin prezentarea următoarelor sisteme:

9.7.1. Sistem ierarhizat pentru conducerea unei instalații de încălzire

Ierarhizarea sistemului de conducere este structurată pe trei niveluri și anume:

- nivelul aparatură de câmp (nivelul de proces);
- nivelul automatizare;
- nivelul supraveghere și gestiune.

Nivelul aparatură de câmp este format din aparatele și echipamentele de automatizare montate în procesul din instalația de încălzire, motiv pentru care acest nivel mai este denumit și nivelul proces.

Nivelul automatizare este prezentat de automatul programabil TSX 17-20, produs de SCHNEIDER ELECTRIC, a cărui configurație hardware este următoarea:

- modulul de bază al automatului;
- modulul de intrări analogice (patru canale în tensiune 0...10 V c.c.);
- modulul de ieșiri analogice (două canale în tensiune 0...10 V c.c.);
- adaptorul pentru termorezistență.

Nivelul supraveghere și gestiune este asigurat de un calculator PC, care comunică serial cu automatul programabil. Software-ul utilizat de calculator este sistemul de simulare și comunicație Kit, pentru sisteme analogioce, discrete logice cu eșantionare, conceput în Catedra de Electrotehnică din Universitatea Tehnică de Construcții București, și completat, în mod special, pentru conducerea ierarhizată a instalațiilor, cu driveri de comunicație dedicate. În volumul „Instalații de încălzire" §7 sunt prezentate sistemele de gestiune a energiei termice.

9.7.2. Sistem ierarhizat pentru asigurarea și monitorizarea serviciilor în camerele unui hotel

Din structura generală propusă în fig. IV.9.7.2., reiese că sistemul de conducere poate asigura și ierarhizarea între un calculator PC și o rețea de automate programabile APC 702 (produse de AUTOMATICA SA din București), conectate conform standardului de comunicație serială pe două fire RS-485, protocolul PROFIBUS.

Scopul constituirii rețelei de automate programabile este acela de a oferi o soluție de preluare și deservire distribuită în camerele unui hotel, cum ar fi: prestații ale menajerei de pe etaj, solicitări la spălătorie, bar, recepție etc. Rețeaua de automate APC 702 este dimensionată pentru un hotel cu parter și patru etaje, care are 20 de camere pe fiecare nivel. La fiecare nivel a fost prevăzut câte un automat programabil, care tratează solicitările de la camere către oficiul menajerei pe respectivul nivel. Interconectarea în rețea a automatelor de la fiecare nivel, permite tratarea solicitărilor de servicii în cameră încât, dacă menajera de la etajul respectiv nu poate rezolva solicitarea într-un interval de timp prestabilit, atunci solicitarea se transferă către oficiul menajerei de la nivelurile apropiate, până la rezolvarea solicitării. În camera care solicită serviciul este prevăzut un sis-

tem de confirmare optică a faptului că apelul a fost preluat și urmează rezolvarea solicitării.

Calculatorul PC de la nivelul supraveghere/gestiune este conectat în rețeaua automatelor programabile de la nivelul automatizare și, prin folosirea unui software adecvat, poate monitoriza asigurarea serviciilor în camerele hotelului, cât și intervenția în timp real la eventualele necorelări ale personalului pe oricare nivel al hotelului.

Observație. Automatele APC 702 pot fi conectate într-o rețea locală de maximum opt automate, cu ajutorul interferențelor seriale RS-485 (protocolul este de tip PROFIBUS Token-Ring). Din cauza limitării la opt a numărului de automate din rețea, hotelul nu poate avea mai mult de opt niveluri. Pentru un număr mai mare de etaje se pot adopta soluții speciale, bazate pe automatele APC 702 (cum ar fi constituirea mai multor rețele independente) sau se utilizează alte tipuri de echipamente.

Principiul de funcționare a sistemului

În oficiul menajerei de la fiecare din cele cinci niveluri ale hotelului se află câte un automat APC 702, legat prin intrările și ieșirile logice la cele 20 de camere de pe un nivel. Suportul fizic prin care se interconectează automatele în rețea este constituit din două fire metalice torsadate (răsucite), conform standardului serial RS-485.

Un automat instalat la un nivel al hotelului are configurația hardware minimală oferită de modulul de bază al automatului, fără utilizarea modulelor APC 702 EXTENSIE. Acesta dispune de 24 intrări logice pe tranzistoare, o intrare de numărare rapidă (neutralizată), un canal de comunicație serială RS-232C pentru consola de programare și un canal de comunicație serială RS-485 pentru conectarea în rețeaua locală de automate.

În rețeaua celor opt automate programabile este conectat calculatorul PC, de la nivelul ierarhic superior de supraveghere și gestiune. Calculatorul poate să „asculte" toate informațiile vehiculate în rețea, dar nu poate emite propriile mesaje. Are rol de supervizor central și se instalează într-unul din birourile personalului de conducere a hotelului sau la recepție. De aici se poate urmări dinamica asigurării serviciilor în camere, cu ajutorul ecranului special conceput în acest scop. Camerele care solicită servicii se colorează în mod diferit de celelalte (roșu) și revin la culoarea comună (gri), după anularea serviciului prin executare.

Organizarea programului de lucru al unui automat

Automatele programabile APC 702, plasate la fiecare nivel al hotelului, sunt dotate cu programe de aplicație care au structuri similare. Deosebirile apar la numerotarea diferită a camerelor de la parter și de la fiecare etaj, conform regulilor obișnuite în hoteluri, cât și la zonele de memorie alocate procesoarelor de comunicație ale automatelor conectate în rețea.

Unitatea centrală a automatului, de tip biprocesor, conține un procesor de

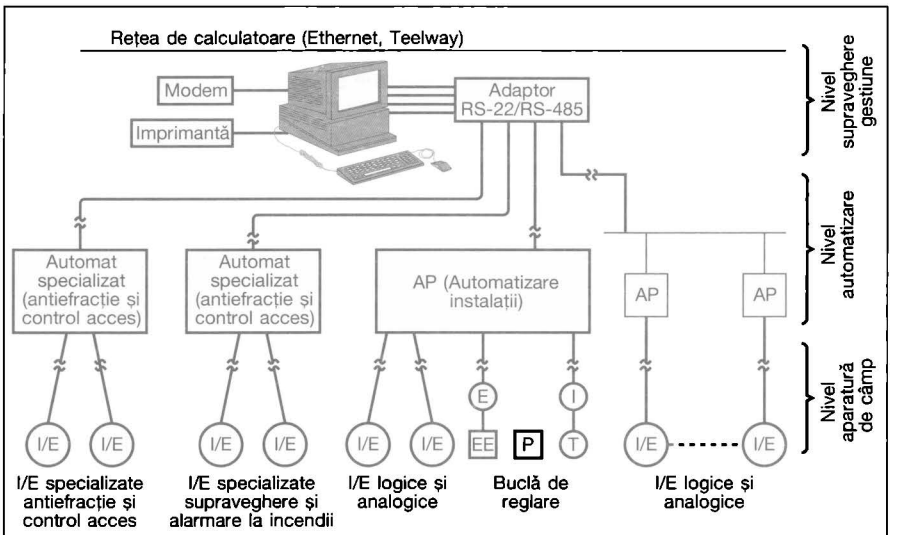


Fig.IV.9.7.1 Sistem integrat de conducere ierarhizată a proceselor și serviciilor din clădiri.

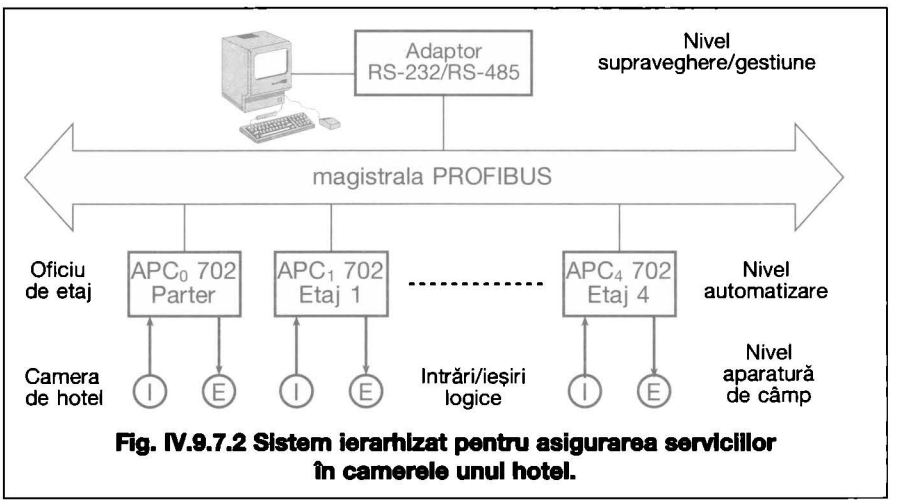


Fig. IV.9.7.2 Sistem ierarhizat pentru asigurarea serviciilor în camerele unui hotel.

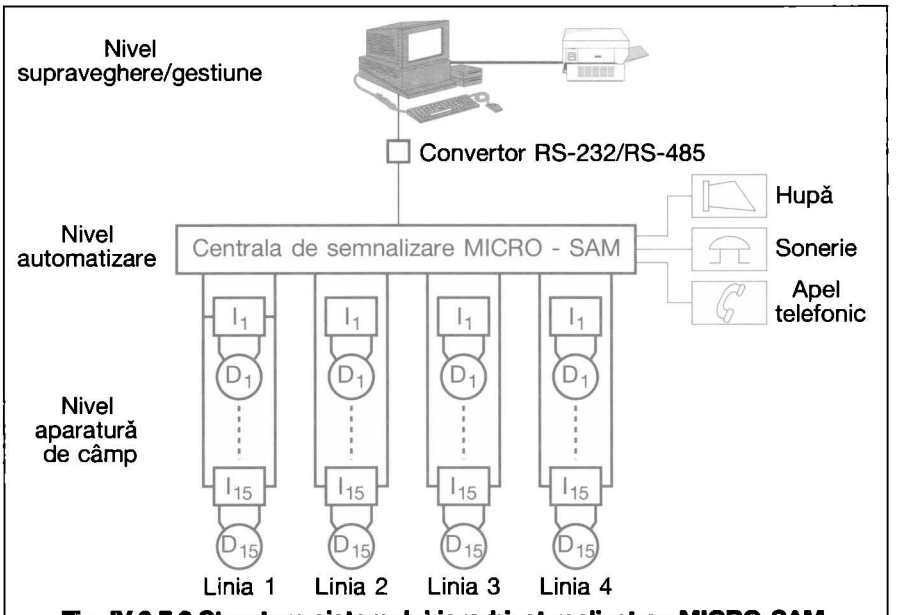


Fig. IV.9.7.3 Structura sistemului ierarhizat realizat cu MICRO-SAM.

automat (80C32) pentru execuţia programelor utilizator şi un procesor de comunicaţie (80C32) pentru transferul datelor pe linie.

Transmisia informaţiilor în reţeaua de automate programabile se efectuează prin utilizarea memoriei de date pentru comunicaţie. Această zonă de memorie este alocată tuturor automatelor din reţea şi orice modificare, care apare la un automat, este actualizată prin intermediul reţelei de comunicaţie şi în zonele corespunzătoare ale celorlalte automate din reţea.

Emisia datelor se efectuează din zona memoriei de date alocată în automat, către toate automatele din reţea pentru care s-a validat emisia.

Recepţia datelor se efectuează prin preluarea din memoria de date pentru comunicaţie, a datelor care au fost recepţionate de pe magistrală şi se actualizează memoria de date în zona dedicată automatului care le-a transmis.

9.7.3. Sistem ierarhizat pentru supraveghere şi alarmare la incendii

Rolul unei instalaţii de semnalizare a incendiilor constă în supravegherea permanentă a spaţiului protejat, în depistarea corectă şi precoce a prezenţei incendiului şi în declanşarea sistemelor de alarmare şi/sau de protecţie adaptate unei intervenţii rapide şi eficiente. MicroSupervizorul Adresabil Modular „MICRO-SAM", produs în România de AUTOMATICA SA, este un sistem de tip adresabil destinat supravegherii, detectării şi alarmării în cazul apariţiei unor incendii în spaţii închise.

Sistemul (fig. IV.9.7.3) este compus dintr-o centrală de semnalizare şi dispozitive periferice adresabile (butoane, detectoare de fum, de flacără, de temperatură, sonerii etc.). Centrala permite realizarea a 4 linii (circuite) de semnalizare şi pe fiecare dintre acestea se pot stabili 15 adrese distincte. Fiecare circuit de semnalizare permite conectarea atât a elementelor de iniţiere a alarmei cât şi a elementelor de execuţie (avertizare).

Indicarea evenimentelor care au loc în sistem se efectuează local pe un afişor cu patru caractere sintetice prin şapte segmente, aparţinând centralei, sau prin tipărire la o imprimantă conectată pe ieşirea serială RS-232 a centralei. Indicarea evenimentelor produse în sistemul de supraveghere se poate efectua şi la distanţă, datorită comunicaţiei care se poate stabili între centrala MICRO-SAM şi un calculator la nivelul ierarhic superior. De asemenea, la distanţă se poate comunica automat prin linie telefonică, folosind principiul comunicării circuitelor, dispozitivul de apel telefonic având o capacitate de maxim patru numere (abonaţi).

Centrala de semnalizare a fost conectată în vederea comunicaţiei cu un calculator PC, aflat la nivelul ierarhic superior. Comunicaţia între centrală şi calculator se efectuează serial, cu o viteză de 2400 bauds, este de tip asincron şi respectă standardul RS-232C.

Sensul transmisiei informaţiei este de la centrala MICRO-SAM, aflată la nivelul automatizare al sistemului ierarhizat, către calculatorul situat la nivelul de supraveghere şi gestiune. Este posibilă transmisia informaţiei şi în sens invers, atunci când centrala se programează de la nivelul calculatorului.

Distanţa maximă dintre centrala MICRO-SAM şi calculator poate fi de 15 m, atunci când comunicaţia se realizează conform standardului RS-232C. Dacă situaţia concretă dintr-o clădire impune comunicaţia la distanţe mai mari, atunci se poate utiliza cea de-a doua ieşire serială a centralei, care foloseşte standardul RS-485. La capătul dintre calculator al cablului de comunicaţie se va utiliza un adaptor RS-232/RS-485 şi distanţa maximă poate fi de 1200 m.

În regim de monitorizare, centrala MICRO-SAM transmite la calculator sau tipăreşte la imprimantă orice eveniment care se produce în sistem: alarme provenite de la butoane sau detectoare, întreruperi sau scurtcircuite în liniile de semnalizare cablate în clădirile sau spaţiile supravegheate, întreruperea alimentării centralei de la reţeaua de 220 V c.a., descărcarea acumulatoarelor etc.

Sistemul ierarhizat pentru detectare şi alarmare la incendii realizat cu MICRO-SAM (fig. IV.9.7.3) este implementat ca o parte componentă a sistemului pentru conducerea ierarhizată a instalaţiilor din clădiri (fig.IV.9.7.1). Calculatorul de la nivelul supraveghere/gestiune este acelaşi calculator care asigură nivelul ierarhic superior în sistemul de conducere al instalaţiei de încălzire şi în sistemul pentru asigurarea şi monitorizarea serviciilor în camerele de hotel.

Dacă dimensiunile sau alte particularităţi ale clădirilor supravegheate la incendii impun utilizarea a mai mult de patru linii de semnalizare cu un total de butoane şi detectoare mai mare de 60 elemente, atunci se poate opta pentru soluţii cu mai multe centrale MICRO-SAM conectate în reţea.

Comunicaţia în reţeaua centralelor MICRO-SAM se efectuează conform standardului serial RS-485. La calculator este necesară prevederea convertorului RS-232/RS-485.

Protocolul de comunicaţie PROFIBUS nu poate fi adoptat în acest caz, deoarece reprezintă o soluţie prea complicată pentru resursele hardware ale centralei. Microprocesorul 80C32 din unitatea centrală a MICRO-SAM este suficient de ocupat cu activitatea de supraveghere şi alarmare la incendii, pentru a prelua şi sarcinile de comunicaţie în reţea. Un argument suplimentar ar fi că automatele programabile APC 700, 701, 702 pot comunica conform protocolului PROFIBUS deoarece dispun de un microprocesor 80C32 afectat special acestui scop, pe lângă microprocesorul care rezolvă sarcinile de automatizare obişnuite ale procesului.

V. Eficiența energetică

Capitolul 01

Metodologia de calcul a performanței energetice a instalațiilor de iluminat

1.1. Generalități

Legea 372/2005 are drept scop creșterea performanței energetice a clădirilor.

Pe baza Legii 372/2005, s-a elaborat „Metodologia de calcul privind performanța energetică a instalațiilor de iluminat Mc001/II-4-2006".

Metodologia de calcul cuprinde și evaluarea consumului de energie a sistemelor de iluminat interior, cu scopul eficientizării consumului energetic al întregii clădiri.

Metoda de calcul poate fi utilizată pentru următoarele aplicații:

- evaluarea conformității cu normele care prevăd limite de consum energetic;
- optimizarea performanței energetice a unei clădiri în proiectare prin aplicarea metodei pentru mai multe variante posibile de realizare;
- stabilirea unui nivel convențional de performanță energetică pentru clădirile existente;
- certificarea energetică a clădirilor;
- evaluarea efectului asupra unei clădiri existente al măsurilor posibile de conservare a energiei, prin calcularea necesarului energetic cu sau fără implementarea măsurilor de reabilitare;
- predicția resurselor energetice necesare în viitor la scară națională sau internațională prin calcularea necesarului energetic al unor clădiri reprezentative pentru întregul segment de clădiri.

Realizarea confortului vizual se face pe baza unor criterii de performanță și a unor valori normate specifice sistemelor de iluminat artificial sau integrat interior.

1.2. Terminologie, simboluri și notații

Puterea electrică a corpului de iluminat P_i - este reprezentată de puterea consumată de sursele de lumină care echipează corpul de iluminat, balast (balasturi) și alte aparate electrice necesare funcționării acestora, măsurată în situația funcționării normale sau în cazul emisiei unui flux luminos maxim, atunci când corpurile de iluminat pot fi acționate prin intermediul unui variator de tensiune.

Unitatea de măsură [W/m^2].

Puterea parazitară P_{pi} este puterea nominală a corpului de iluminat măsurată când acesta este în „stand-by". Pentru corpurile de iluminat cu detector de prezență, puterea parazitară este puterea absorbită de detector, iar pentru cele din iluminatul de siguranță puterea parazitară este puterea necesară pentru a încărca bateriile.

Unitatea de măsură [W].

Puterea instalată a unui sistem de iluminat dintr-o zonă delimitată sau încăpere, P_n - care deservește o încăpere reprezintă suma puterilor nominale ale tuturor surselor de lumină montate în aparatele de iluminat aferente sistemului de iluminat, la care se cumulează puterea totală a aparatajului auxiliar.

Relația de calcul este:

$$P_n = N\left[n(P_c + P_a)\right]$$

unde:

N - numărul de aparate de iluminat;

n - numărul de surse de lumină montate în aparatul de iluminat;

P_c - puterea nominală a unei surse de lumină;

P_a - putere aparataj auxiliar.

Unitate de măsură: [W].

Puterea specifică a unui sistem de iluminat, p_s - reprezintă raportul dintre puterea instalată a acestuia și suprafață totală a încăperii iluminate.

Relația de calcul este:

$$p_s = \frac{P_n}{A}$$

Unitate de măsură: [W/m^2].

Timp de funcționare t_o - numărul de ore de funcționare a aparatului de iluminat. Acest număr depinde de destinația clădirii și de programul de lucru.

Unitate de măsură: [h].

Timp standard anual t_y - durata unui an standard - 8760 h.

Timp efectiv de utilizare t_n - timpul de utilizare a sistemului de iluminat.

Unitate de măsură: [h].

Timpul operațional al puterii parazitare, t_p este timpul de utilizare efectivă a puterii parazitare.

Unitate de măsură: [h].

Aria totală a pardoselii folosite a clădirii, A - cuprinsă între pereții exteriori excluzând spațiile nefolosite și spațiile neiluminate.

Unitate de măsură: [m^2].

Factor de dependență de lumina de zi, F_D - exprimă gradul de utilizare a puterii sistemului de iluminat dintr-o încăpere în funcție de cantitatea de lumină naturală admisă în încăpere.

Factor de dependență de durata de utilizare F_o - exprimă gradul de utilizare al puterii instalate a sistemului de iluminat luând în considerare durata de utilizare a sistemului de iluminat aferent unei încăperi sau unei zone.

Indicatorul numeric al iluminatului, LENI - reprezintă raportul dintre energia electrică consumată de sistemele de iluminat aferente unei clădiri în scopul creării mediului luminos confortabil necesar desfășurării activității în clădire și aria totală a pardoselii folosite a clădirii, A.

Indicatorul **LENI** poate fi utilizat pentru a compara consumul de energie electrică pentru două sau mai multe clădiri cu aceeași destinație, de dimensiuni și configurații diferite.

Indicatorul LENI se stabilește din relația:

$$\text{LENI} = \frac{W_{ilum}}{A} \qquad [\text{kWh/m}^2\cdot\text{an}]$$

unde:

W_{ilum} - reprezintă energia electrică consumată de sistemele de iluminat din clădire.

Eficacitatea luminoasă a unei surse de lumină, e – raportul dintre fluxul luminos nominal Φ_v emis de o sursă de lumină și puterea nominală P_c consumată de aceasta, fără să se ia în considerație puterea consumată de aparatajul auxiliar.

$$e = \frac{\Phi_v}{P_c}$$

Unitate de măsură: [lm/W].

Eficacitatea luminoasă globală a unei surse de lumină, e_g – raportul dintre fluxul luminos nominal Φ_v emis de o sursă de lumină și puterea nominală P_c consumată de aceasta, la care se cumulează puterea consumată de aparatajul auxiliar (balast).

$$e_g = \frac{\Phi_v}{P_c + P_a}$$

Unitate de măsură: [lm/W].

Unghi de ecranare, γ - unghiul dintre axa de referință a aparatului de iluminat și linia vederii (cea mai dezavantajoasă) de la care sursele de lumină și suprafețele luminoase ale aparatului de iluminat nu mai sunt vizibile.

1.3. Calculul energiei electrice anuale utilizată pentru iluminat

Determinarea consumului de energie electrică utilizată se poate face în două moduri: prin calcul și prin măsurări directe.

Metodele de calcul pentru estimarea energiei electrice necesare se vor aplica următoarelor tipuri de clădiri:

- birouri;
- clădiri de învățământ;
- spitale;
- hoteluri și restaurante;
- săli de sport;
- clădiri pentru servicii de comerț;
- alte tipuri de clădiri consumatoare de energie electrică.

Pentru consumul specific mediu anual de energie electrică al locuințelor unifamiliale și apartamente din blocuri de locuit se vor utiliza valorile din tabelul 10.4.

În cazul clădirilor mai sus menționate puterea electrică absorbită din rețeaua electrică poate fi considerată, din punct de vedere al performanței energetice,

ca fiind: puterea nominală a aparatului de iluminat P_i și puterea parazitară P_p.

Puterea nominală a aparatului de iluminat este formată din puterea nominală a sursei (surselor de lumină), puterea nominală a balastului (balasturilor) montate în circuitul de alimentare, puterea nominală a altor receptoare consumatoare de energie electrică, măsurate în cazul funcționării la parametrii nominali a aparatului de iluminat sau în cazul emisiei unui flux luminos maxim atunci când se poate varia fluxul luminos emis de sursele de lumină.

Puterea parazitară este puterea absorbită de întregul sistem (aparat de iluminat + aparate necesare funcționării) și trebuie măsurată când aparatul de iluminat este în stand-by. Pentru aparatele cu senzor de prezență, aceasta poate fi puterea nominală a detectorului de prezență, iar în cazul iluminării de siguranță, puterea necesară pentru a încărca bateriile.

Calculul energiei electrice necesare realizării unui iluminat adecvat destinației clădirii se face cu ajutorul a două metode de calcul, prezentate în continuare.

1.3.1. Metoda complexă

Pentru calculul cu acuratețe a estimărilor consumului de energie electrică pentru iluminat se folosește relația:

$$W_{ilum}=\frac{\left[\sum\left(P_p\cdot t_p\right)+\sum P_n\left[\left(t_D\cdot F_D\cdot F_O\right)+\left(t_N\cdot F_O\right)\right]\right]}{1000}$$

[kWh/an] (1.3.1.)

unde:

P_p - puterea parazitară [W];

t_p - timpul operațional al puterii parazitare;

P_n - puterea instalată a unui sistem de iluminat;

t_D - timpul de utilizare a luminii de zi în funcție de tipul clădirii;

t_N - timpul în care nu este utilizată lumina naturală;

F_O - factorul de dependență de durata de utilizare;

F_D - factorul de dependență de lumina de zi.

Determinarea factorilor t_D și t_N care intervin în relația de calcul complexă se va face prin stabilirea riguroasă a timpului de utilizare a luminii naturale sau a timpului în care lumina naturală nu este utilizată pentru completarea iluminatul general al spațiilor aferente clădirii, în funcție de condițiile existente și de anotimp.

De asemenea, se determină cu precizie timpul de operare a puterii parazitare, luându-se în considerație situația existentă (de exemplu: regimul de funcționare a aparatului de iluminat de siguranță etc.).

Factorii F_O și F_D vor fi apreciați cu ajutorul tabelelor 1.3 și 1.2.

10.3.2. Metoda simplificată

Această metodă este o metodă rapidă de calcul și constă în aplicarea următoarei relații de calcul:

$$W_{ilum}=6A+\frac{t_u\sum P_n}{1000}\ \text{[kWh/an]}\qquad (1.3.2.)$$

unde:

$$t_u=\left(t_D\cdot F_D\cdot F_O\right)+\left(t_N\cdot F_O\right)$$

P_n - puterea instalată;

t_D - timpul de utilizare a luminii de zi în funcție de tipul clădirii (tabelul 1.1);

t_N - timpul în care nu este utilizată lumina naturală (tabelul 1.1);

F_o - factorul de dependență de durata de utilizare;

F_D - factorul de dependență la lumina de zi (tabelul 1.2) care depinde de sistemul de control al iluminatului din clădire și de tipul de clădire.

F_O - factorul de dependență de durata de utilizare (tabelul 1.3)

A - aria totală a pardoselii folosite din clădire [m²].

Numărul 6 din relația de calcul reprezintă 1 kWh/m²·an (consumul de energie estimat pentru încărcarea bateriilor corpurilor de iluminat de siguranță) la care se adaugă 5 kWh/m²·an (consumul de energie electrică pentru sistemul de control al iluminatului).

1.3.3. Aprecierea corectă a performanței energetice

1. **Consumul specific de energie electrică** se calculează raportând energia electrică calculată la aria totală a pardoselii folosite a clădirii, A, ceea ce conduce la determinarea **indicatorului LENI**, definit anterior.

2. **Aprecierea corectă a performanței energetice** și încadrarea clădirii într-o clasă de consum energetic se face numai în condițiile în care sistemele de

Tabel 1.1. Timpul de utilizare anual, în funcție de tipul clădirii

Tipul clădirii	*Orele de funcționare, anual*		
	t_D	t_N	t_{total}
Clădiri de birouri	2250	250	2500
Clădiri de învățământ	1800	200	2000
Spitale	3000	2000	5000
Hoteluri	3000	2000	5000
Restaurante	1250	1250	2500
Săli de sport	2000	2000	4000
Clădiri pentru servicii de comerț	3000	2000	5000

Tabel 1.2. F_D - Factorul de dependență de lumina de zi

Tipul clădirii	*Tipul sistemului de control*	F_D
Birouri, clădiri sportive	Manual	1,0
	Celulă foto iluminare constantă	0,9
	Celulă foto iluminare cu senzor lumină naturală	0,8
Hoteluri, restaurante, magazine	Manual	1,0
	Celulă foto iluminare constantă	0,9
Clădiri de învățământ, spitale	Manual	1,0
	Celulă foto iluminare constantă	0,9
	Clelulă foto iluminare cu senzor lumină naturală	0,7

Notă: Se consideră că cel puțin 60% din iluminat este controlat prin intermediul sistemului considerat.

Tabel 1.3. - Factorul de dependență de durata de utilizare

Tipul clădirii	*Tipul sistemului de control*	F_O
Birouri, clădiri de învățământ	Manual	1,0
	Automat ≤ 60 % din încărcătura conectată	0,9
Clădiri sportive, resturante	Manual	1,0
		0,7
Hotel	Manual	0,7
Spital	Manual (controlul automat prezent în procent redus)	0,8

Notă: Se consideră control automat cu senzor de prezență, cel puțin unul din fiecare încăpere, iar pe suprafețe mari, cel puțin unul la 30 m².

iluminat din clădire realizează gradul de confort vizual minim impus prin reglementările tehnice în vigoare. În cazul în care confortul vizual nu este realizat, încadrarea energetică a clădirii într-una din clase nu este relevantă și trebuie să se impună măsuri de reabilitare a sistemelor de iluminat.

Realizarea confortului vizual în încăperile aferente clădirilor la care se face referire în prezentul document este impusă prin normativ, fiind obligatorie.

Pentru clădirile de locuit, se va opta pentru stabilirea unui consum mediu de energie electrică, în funcție de tipul apartamentului, conform tabelului 1.4.

Pentru estimarea acestui consum specific s-a considerat utilizarea unui iluminat incandescent, preponderent în locuințe. Auditorul va face recomandări privind creșterea eficienței energetice a sistemelor de iluminat aferente locuințelor, în vederea reducerii consumului de energie electrică.

1.4 Recomandări privind reabilitarea sistemelor de iluminat din punct de vedere energetic cu respectarea condițiilor de confort vizual

Mediul luminos confortabil este determinat de o serie de factori cantitativi și calitativi care caracterizează un sistem de iluminat artificial interior, conducând la asigurarea confortului vizual, funcționalității și esteticii încăperii în care se desfășoară activitatea umană.

Reabilitarea corespunzătoare a sistemelor de iluminat artificial în vederea asigurării confortului vizual prin respectarea factorilor cantitativi și calitativi impuși de normativul în vigoare, precum și a implementării unor soluții performante din punct de vedere energetic se fac luând în considerare următoarele aspecte:

- alegerea adecvată a echipamentelor electrice din punct de vedere funcțional;
- alegerea judicioasă a echipamentelor electrice utilizate, astfel încât instalația de iluminat să prezinte un grad ridicat al eficienței energetice;
- alegerea adecvată a tipului de sistem de iluminat din punct de vedere al distribuției fluxului luminos în spațiu;
- utilizarea de metode de calcul precise pentru stabilirea soluției luminotehnice;
- utilizarea programelor de calcul specializate pentru o dimensionare corectă a soluțiilor de iluminat în vederea evitării supradimenionării sau subdimensionării sistemelor de iluminat artificial;

1.4.1 Alegerea sursei de lumină

Sursa de lumină sau lampa electrică realizează conversia energiei electrice în energie luminoasă.

Pentru realizarea unui mediu luminos adecvat se recomandă ca, în alegerea sursei de lumină, să se ia în considerație parametrii luminotehnici ai surselor de lumină:

- culoarea aparentă;
- temperatura de culoare;
- redarea culorii caracterizată prin indicele de redare a culorilor, *Ra*;
- durata de funcționare;
- durata de punere în funcțiune;
- geometrie și dimensiuni AIL.

Alegerea parametrilor enumerați anterior se face de către specialistul în tehnica iluminatului, în funcție de destinația încăperii, activitatea desfășurată, în consecință, de condițiile minime de confort pe care trebuie să le asigure sistemul de iluminat.

1.4.2 Alegerea aparatului de iluminat

Din punct de vedere funcțional, tipul aparatului de iluminat se alege în funcție de o serie de criterii:

- activitatea desfășurată în încăperea respectivă;
- estetică;
- unghiul minim de protecție vizuală;
- luminanță;
- modul de distribuție al fluxului luminos: direct,
  semi-direct,
  direct-indirect,
  semi-indirect,
  indirect.
- tipul suprafeței pe care va fi montat;
- grad de protecție la agenții de mediu;
- grad de protecție la electrocutare.

1.4.3 Alegerea aparatajului auxiliar

Aparatajul auxiliar necesar funcționării adecvate a surselor de lumină este reprezentat de balast și condensator.

Balastul trebuie să îndeplinească următoarele condiții: să asigure stabilizarea descărcării, să prezinte un factor de putere ridicat, să introducă un procentaj redus de armonici, să fie echipat cu sisteme de atenuare a paraziților radio sau TV, să prezinte o funcționare silențioasă o perioadă cât mai lungă de timp, atenuarea fenomenului de pâlpâire.

Din punct de vedere funcțional, aceste echipamente electrice trebuie să prezinte compatibilitate electrică, astfel încât funcționarea surselor de lumină să se facă la parametrii nominali.

În general, aparatele de iluminat sunt distribuite de către furnizorii de echipamente, complet echipate.

Tabel 1.4. Consumul mediu de energie electrică estimat pentru spațiile de locuit

Tip locuință	Suprafață considerată [m²]	Consumul specific mediu de energie electrică [kWh/sezon·m²]		Consumul specific mediu de energie electrică [kWh/an·m²]	W_{light} [kWh/sezon]		W_{light} [kWh/an]
		Sezon rece	Sezon cald		Sezon rece	Sezon cald	
Garsonieră	25	8,7	6,2	14,8	217	155	372
Apartament 2 camere	40	6,3	4,5	10,8	253	180	433
Apartament 3 camere	60	6,5	4,5	11	390	270	660
Apartament 4 camere	80	5,3	3,6	8,9	420	294	714
Apartament 5 camere	120	4,2	2,9	7,1	498	350	848

Valorile corespund unui raport A_v / A_p (suprafața vitrată/suprafața pardoselii încăperii) între 0,30 și 0,45 și existența grupurilor sanitare cu ferestre exterioare.
Pentru cazul unui raport A_v / A_p mai mic de 0,30, valorile din tabel se măresc cu 10 %.
Pentru apartamente cu grupuri sanitare fără ferestre exterioare, valorile din tabel se măresc cu 5 %.

1.5 Alegerea echipamentelor electrice din punct de vedere al performanței energetice

1.5.1 Alegerea sursei de lumină

În funcție de natura producerii radiațiilor luminoase, sursele de lumină pot fi: surse cu radiații produse pe cale termică (surse cu incandescență) sau surse cu radiații produse prin agitație moleculară (surse cu descărcări).

Din punct de vedere al eficienței luminoase, sursele cu descărcări folosite în interiorul clădirilor sunt net superioare celor cu incandescență, eficacitatea luminoasă a acestora fiind de cca 3...6 ori mai mare. Deci, se recomandă utilizarea cu preponderență a surselor cu descărcări, cu condiția realizării condițiilor de confort vizual impuse de prevederile reglementărilor tehnice în vigoare.

Utilizarea surselor cu incandescență este permisă numai în cazuri speciale (ex: foaierele teatrelor, localuri de lux etc.), acolo unde condițiile de confort (redare excelentă a culorilor, culoarea aparentă caldă etc.) impun această soluție neeconomică atât din punct de vedere al consumului de energie cât și din punct de vedere al costurilor de întreținere.

1.5.2 Alegerea aparatului de iluminat

Din punct de vedere al performanței energetice, alegerea aparatului de iluminat se va face în funcție de randamentul optic al acestuia, η. Randamentul optic al aparatelor de iluminat variază în funcție de tipul aparatului de iluminat și de firma producătoare, acesta având o gamă de valori cuprinsă între 0,28 și 0,98. Alegerea unor aparete de iluminat cu randament necorespunzător duce la reducerea eficienței energetice a sistemului de iluminat.

În consecință, se va opta cu preponderență pentru aparate de iluminat cu randament optic mare, în condițiile în care calitatea mediul luminos al unei încăperi (oricare ar fi destinația acesteia), este cea indicată prin normativul în vigoare.

1.5.3 Alegerea aparatajului auxiliar

Balasturile utilizate în circuitul de alimentare al surselor de lumină pot fi: balasturi electromagnetice și balasturi electronice.

Din punct de vedere al eficienței energetice, balasturile electronice au un consum energetic redus, utilizarea acestora conducând la o importantă reducere a consumului global de energie electrică (pentru întreaga clădire) și, de asemenea, la o serie de avantaje din punct de vedere funcțional, cum ar fi: creșterea eficacității luminoase a

Tabel 1.5. Puteri specifice pentru iluminatul interior general recomantate în vederea reabilitării sistemelor de iluminat

Tipuri de destinații	E_m [lx]	Putere specifică [W/m^2] pentru încăperi având înălțimea cuprinsă între: 2,4÷4 m
1. Arii comune ale clădirilor		
Birou	500	13,7...17,2
Holuri de intrare	200	3,5...5,9
Holuri hotel	100	3,3...4,2
Zone de circulație, coridoare	100	3,3...4,2
Platforme de încărcare	150	3,9...5,0
Scări, scări rulante	100	3,3...5,3
Cantine	150	3,3...5,9
Camere de odihnă	200	3,5...4,2
Săli pentru exerciții fizice	100	5,0...10,6
Săli de baie, toalete	300	3,3...5,9
Infirmerii	200	13,7...17,2
Săli consiliu medicale	500	13,7;17,2
Sălile mașinilor	200	5,0...6,7
Săli cu panouri de comandă	500	13,7...17,2
Depozite, magazii (h = 3÷5 m)	100	2,5...3,3
Spații pentru ambalare	300	5,0...10,6
Puncte de control	150	3,3...5,9
2. Birouri		
Scris, citit, procesare de date	500	13,8...17,2
Desen tehnic		
- iluminat local	750	13,8...17,2
- iluminat general	500	13,8...17,2
Birouri/săli de proiectare asistată de calculator	500	13,8...17,2
Săli de conferințe și reuniuni	300	7,6...10,6
Birouri de primire	300	7,6...10,6
Arhive	200	5,0...6,7
3. Spații comerciale		
Spații comerciale mici	300	7,6...0,6
Spații comerciale mari	500	13,8...17,2
Zone case de plată	500	11,9...13,4
Zone de împachetare	500	11,9...13,4
4. Restaurante și hoteluri		
Recepții	300	7,6...10,6
Bucătării	500	10,0...12,6
Restaurante, spații funcționale	200	5,04...7,5
Restaurant auto-servire	200	5,04...7,5
Bufet	300	7,6...10,6
Săli de conferință	500	13,8...17,2
Coridoare	100	3,3...4,2
5. Spații de divertisment		
Teatre și săli de concert	200	
Săli polivalente	300	7,6...10,6
Săli pentru repetiții, cabine artiști	300	7,6...10,6
Muzee	300	7,6...10,6
6. Biblioteci		
Rafturi cărți	200	5,0...7,5
Locuri pentru lectură	500	13,8...17,2
Ghișee	500	13,8...17,2
7. Parcări interioare		
Rampe intrare/ieșire pe timp de zi	300	6,3...7,9
Rampe intrare/ieșire pe timp de noapte	75	1,2...1,6
Bandă de circulație	75	1,2...1,6
Spații de parcare	75	1,2...1,6

Tabel 1.5. Puteri specifice pentru iluminatul interior general recomantate în vederea reabilitării sistemelor de iluminat (continuare)

Tipuri de destinații	E_m [lx]	Putere specifică [W/m²] pentru încăperi având înălțimea cuprinsă între: 2,4÷4m
8. Instituții de învățământ		
Camere de joacă	300	7,6...10,6
Săli de clasă în creșe și grădinițe	300	7,6...10,6
Săli de consultații	300	7,6...10,6
Săli de clasă	300	7,6...10,6
Săli de clasă pentru cursuri de seară sau pentru adulți	500	13,8...17,2
Săli de lectură	500	13,8...17,2
Tablă	500	13,8...17,2
Ateliere	500	11,9...13,4
Ateliere de artă în școli de artă	750	16,8...21,0
Săli de desen tehnic		
- iluminat local	750	13,8...17,2
- iluminat general	500	13,8...17,2
Laboratoare	500	13,8...17,2
Amfiteatre	500	13,8...17,2
Săli de muzică	300	7,6...10,6
Săli de calculatoare	500	13,8...17,2
Laboratoare lingvistice	300	7,6...10,6
Săli de studiu	500	13,8...17,2
Camere comune pentru studenți și săli de reuniune	200	3,3...4,2
Cancelarii	300	7,6...10,6
Săli de sport și bazine de înot	300	7,6...10,6
9. Spitale și clinici		
Săli de așteptare	200	3,5...5,9
Coridoare, ziua	200	3,5...5,9
Coridoare, noaptea	50	1,6...2,5
Birouri personal	500	3,8...17,2
Camere personal	300	7,6...10,6
Iluminat general saloane	100	3,3...4,2
Băi și toalete pentru pacienți	200	3,5...5,9
Iluminat general săli de consultație	500	3,8...17,2
Examinarea ochilor și urechilor		
- iluminat local	1000	13,8...17,2
- iluminat general	500	13,8...17,2
Teste de vedere (citit și culoare)	500	13,8...17,2
Saloane dializă	500	13,8...17,2
Saloane de dermatologie	500	13,8...17,2
Saloane de endoscopie	300	7,6...10,6
Săli de pansare	500	13,8...17,2
Saloane de masaj și radioterapie	300	7,6...10,6
Saloane preoperator și de reanimare	500	13,8...17,2
Săli de operații:		
- iluminat general;	500	13,8...17,2
Terapie intensivă:		
- iluminat general	100	3,3...4,2
- examinări simple	300	7,6...10,6
- supraveghere pe timp de noapte	20	1,6...2,5
Stomatologie:		
- iluminat general	500	13,8...17,2
Controlul culorii (laboratoare)		
- iluminat local	1000	13,8...17,2
- iluminat general	500	13,8...17,2
Camere sterilizate/dezinfectate	300	7,6...10,6
Săli de autopsie și morgă		
- iluminat local	750	13,8...17,2
- iluminat general	500	13,8...17,2

lămpilor fluorescente, creșterea duratei de funcționare a acestor surse, posibilitatea varierii fluxului luminos în funcție de necesitățile utilizatorului.

Balasturile electromagnetice pot fi utilizate, dar numai cele performante, în vederea gestionării judicioase a energiei electrice.

1.6 Sisteme de iluminat artificial

Sistemele de iluminat interior trebuie, prin mod de concepție și realizare, să asigure mediul luminos funcțional, confortabil și estetic, în funcție de activitatea desfășurată în încăpere, luând în considerare criteriile de realizare a performanței energetice.

Reabilitarea sistemelor de iluminat se va face cu respectarea nivelurilor de iluminare impuse de normativul în vigoare. În tabelul 1.5 sunt indicate valorile puterii specifice necesare realizării nivelului de iluminare impus, în funcție de destinație și în funcție de înălțimea încăperii.

Sistemele de iluminat interior pot fi clasificate din punct de vedere funcțional, astfel:

- **sisteme de iluminat normal** – care asigură desfășurarea activității umane în condiții optime de confort vizual, în cazul în care iluminatul natural nu este satisfăcător sau lipsește.
- **sisteme de iluminat de siguranță** care trebuie să asigure condiții optime pentru evacuarea persoanelor din clădire în caz de urgență, continuarea lucrului etc.

Sistemele de iluminat normale pot fi sisteme de iluminat principale care realizează iluminatul general al încăperii necesar desfășurării activității, completate sau nu cu sisteme de iluminat secundare, cu rol în realizarea unor efecte luminoase decorative, de accent etc.

Sistemele de iluminat principale se realizează pentru orice incintă, cele secundare au un domeniu mai restrâns de aplicabilitate cum ar fi: expoziții, magazine, muzee etc.

Reabilitarea sistemului de iluminat normal se face luând în considerație situația de seară/noapte, atunci când componenta naturală lipsește, astfel încât aceasta să îndeplinească factorii cantitativi și calitativi ce caracterizează un sistem de iluminat.

Din punct de vedere al performanței energetice, sistemul de iluminat trebuie dimensionat astfel încât consumul de energie electrică să fie minim, în condițiile realizării unui mediu luminos adecvat activității umane desfășurate.

La alegerea sistemului de iluminat se au în vedere următoarele aspecte:

- sarcina vizuală specifică activității

desfășurate în încăperea respectivă;
- clasa de calitate a sistemului de iluminat: A - foarte înaltă calitate,
  B - înaltă calitate,
  C - calitate medie,
  D - calitate scăzută,
  E - calitate foarte scăzută;
- nivelul de iluminare impus prin normativ;
- modul de distribuție a fluxului luminos: SIL direct,
  SIL semi-direct,
  SIL direct-indirect,
  SIL semi-indirect,
  SIL indirect;
- estetică.

Sistemele de iluminat normal se clasifică după mai multe criterii, cele mai importante fiind:
- distribuția fluxului luminos în spațiu;
- distribuția iluminării (a fluxului luminos) în plan util.

1.7 Sistemul integrat de iluminat artificial și natural

Sistemele integrate de iluminat au ca scop realizarea mediului luminos confortabil în condițiile utilizării echilibrate a luminii naturale, iar din punct de vedere al confortului vizual și al performanței energetice reprezintă soluția cea mai indicată. Deși sistemul de iluminat al unei încăperi este conceput pentru situația de seară/noapte (iluminatul natural lipsește sau este insuficient), proiectantul sistemului de iluminat trebuie să conceapă sistemul de iluminat ca pe un sistem integrat prin implementarea unor soluții agreate și de beneficiar. Creșterea performanței energetice a sistemelor integrate de iluminat se face prin implementarea unui tip de control, în funcție de care se poate face diferențierea acestora din punct de vedere al gestionării judicioase a energiei electrice.

1.7.1 Controlul sistemului de iluminat în funcție de timpul de utilizare al încăperii.

Acest tip de control se poate realiza prin:
- **sisteme fără detectare automatizată a prezenței utilizatorilor în încăpere**

Acționarea aparatelor de iluminat se face prin intermediul:
- întreruptoarelor manuale;
- întreruptoarelor manuale, la care se adaugă stingerea automată la sfârșitul programului, pentru a se evita funcționarea sistemului de iluminat după terminarea programului.

Stingerea automată se poate realiza prin intermediul unui ceas programator care să comande întreruperea alimentării cu energie electrică.

Tabel 1.5. Puteri specifice pentru iluminatul interior general recomantate în vederea reabilitării sistemelor de iluminat (continuare)

Tipuri de destinații	E_m [lx]	Putere specifică [W/m²] pentru încăperi având înălțimea cuprinsă între: 2,4÷4 m	3÷5 m
10. Aeroporturi			
Terminale plecări, sosiri, spații de recuperare a bagajelor	200		5,0...6,7
Zone de legătură, scări rulante	200		5,0...6,7
Birouri de informații și de înregistrare	500	13,8...17,2	
Posturi de control pașapoarte	500	13,8...17,2	
Spații de așteptare	200		5,0...6,7
Spații de depozitare a bagajelor	200		5,0...6,7
Posturi de verificare și control	300	7,6...10,6	
Turnul de control	500	13,8...17,2	
Camere de urmărire a traficului aerian	500	13,8...17,2	
Platforme și pasaje pietonale	50	1,3...2,0	
Holul caselor de bilete	200	3,5...5,9	
Case de bilete și birouri bagaje	300	7,6...10,6	
Săli de așteptare	200	3,5...5,9	
Consumul specific de energie electrică se obține luând în considerație numărul de ore de funcționare specific fiecărui tip de încăpere.			

Scoaterea aparatelor de sub tensiune se face etapizat, prin reducerea treptată a nivelului de iluminare.

Sistemul este eficient și se realizează cu costuri suplimentare reduse.
- **sisteme cu detectare automată a prezenței utilizatorilor în încăpere**

Acționarea aparatelor de iluminat se poate face, în acest caz, prin intermediul senzorilor care detectează prezența utilizatorilor în încăpere.

Senzorul de prezență comandă punerea sub tensiune a aparatelor de iluminat în momentul în care sesizează prezența utilizatorilor în încăpere și apoi scoaterea de sub tensiune a acestora atunci când ultima persoană părăsește încăperea.

Avantajul constă în faptul că utilizarea aparatelor de iluminat se face numai pe perioada utilizării încăperii, neexistând consumuri inutile de energie electrică.

Implementarea acestui sistem presupune însă costuri de investiție suplimentare, costuri ce se amortizează în timp prin economia de energie ce se realizează.

1.7.2 Controlul sistemului de iluminat în funcție de accesul luminii naturale

Acest tip de control se poate realiza prin:
- **acționarea sectorizată a corpurilor de iluminat**

Acest lucru presupune acționarea aparatelor de iluminat în șiruri paralele cu ferestrele, astfel încât aparatele de iluminat să fie puse sub tensiune pe măsură ce iluminarea produsă de lumina naturală scade în intensitate.

Acest tip de control nu presupune costuri suplimentare, se poate implementa încă din faza de proiectare printr-o concepție corectă a sistemului de iluminat.

Eficientizarea sistemului prin implementarea acestui sistem rămâne însă la latitudinea utilizatorilor prezenți în încăpere, existând riscul ca funcționarea sistemului de iluminat să nu se realizeze la parametrii nominali sau să nu se realizeze parametrii de confort luminos.

Deci implementarea acest tip de control presupune o urmărire atentă a acestui aspect de către utilizatori, acționarea aparatelor de iluminat fiind manuală.
- **reglarea automată a fluxului luminos** emis de sursele de lumină ce echipează aparatelor de iluminat dintr-o încăpere prin intermediul unor fotocelule montate în încăpere care comandă variația tensiunii la bornele surselor de lumină artificială în funcție de aportul de lumină naturală.

Se realizează astfel un iluminat integrat artificial – natural, cu efecte pozitive asupra confortului vizual al utilizatorilor și eficient din punct de vedere al consumului de energie electrică.

Costul investiției este mai ridicat dar, amortizarea acestora se face într-un timp relativ scurt prin reducerea semnificativă a consumului de energie pentru iluminatul spațiilor.

1.7.3 Controlul mixt al sistemului de iluminat în funcție de timpul de utilizare al încăperii și de accesul luminii naturale

Acest tip de control se poate realiza prin:

- **control local la nivelul fiecărei încăperi**

Prin combinarea celor două tipuri de control al iluminatului pot fi obținute alte variante de control, cea mai eficientă fiind aceea în care se folosesc senzori de prezență pentru acționarea aparatelor de iluminat și celule fotoelectrice pentru reglarea fluxului luminos în funcție de aportul de lumină naturală.

- **control centralizat al instalației de iluminat din clădire**

Un alt tip de control al iluminatului, pe tipuri de încăperi având destinații diferite, deci programe diferite de funcționare, se poate realiza prin intermediul implementării unei instalații BMS.

Controlul și gestiunea instalației de iluminat se poate realiza prin intermediul unui program de calcul specializat, care conferă acesteia eficiență și flexibilitatea, permite măsurarea consumului real de energie electrică, înregistrarea curbelor de sarcină.

Notă:

Pentru auditul energetic și certificatul energetic al unei clădiri, vezi cap. 7 din volumul de Încălzire, ediția a II-a.

BIBLIOGRAFIE

1. Alexandrov - *Sintez reguliatovo mnogomerhîh sistem.* Maşinostroienie, 1986.
2. Bejan, M. - *În lumea unităţilor de măsură,* Editura AGIR, Bucureşti, 2000.
3. Bianchi, C. ş.a. - *Sisteme de iluminat interior şi exterior.* Editura Matrix-Rom, Bucureşti, 2001.
4. Bianchi, C. Mira, N., Pârlog, R.C. - *Dicţionar explicativ - Luminotehnica.* Editura Academiei Române, Bucureşti, 2001.
5. Bianchi, C. ş.a. - *Proiectarea instalaţiilor de iluminat electric.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1981.
6. Bistriceanu, E. - *Algebre Booleene şi circuite digitale.* Editura Matrix Rom, Bucureşti, 1997.
7. Caluianu, S.; Cociorva, S. - *Măsurarea şi controlul poluării atmosferei.* Editura Matrix Rom, Bucureşti, 1999.
8. Caluianu, S. - *Inteligenţa artificială în instalaţii. Logica fuzzy şi teoria posibilităţilor.* Editura Matrix-Rom, Bucureşti, 2000.
9. Centea, O. - *Protecţia instalaţiilor electrice de joasă tensiune.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1982.
10. Constantin, P. - *Culoare. Artă. Ambient.* Editura Meridiane, Bucureşti, 1979.
11. Centea, O.; Bianchi, C. - *Instalaţii electrice.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1973.
12. Chevalier, G. - *Le GRAFCET les automatismes par le diagramme functionnel et la technologie modulaire,* Dunod, Paris, 1980.
13. Chiriţă, I.; Conecini, I. - *Compensarea regimului energetic deformant.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1989.
14. Ciugudean, M. ş.a. - *Circuite integrate liniare. Aplicaţii.* Editura Facla, Timişoara, 1986.
15. Coloşi, T. ş.a. - *Automatizări industriale continue.* IP Cluj-Napoca, 1983.
16. Comşa, D. ş.a. - *Proiectarea instalaţiilor electrice industriale.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.
17. Constantinescu I. ş.a. - *Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1980.
18. Duminicatu, M. ş.a. - *Proiectarea instalaţiilor de joasă tensiune.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1975.
19. Dumitrache, I. ş.a - *Reţele neurale. Identificarea şi conducerea proceselor.* Editura Matrix Rom, Bucureşti, 1999.
20. Dumitrache, I. - *Automatizări electronice.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1993.
21. Freudenthal, H. - *Limbajul logicii matematice* (traducere din limba engleză). Editura Tehnică, Bucureşti, 1973.
22. Georges Asch et collaborateurs - *Acquisition de données. Du capteur a l'ordinateur.* Dunod, Paris, 1999.
23. Georges Asch et collaborateurs - *Les capteurs en instrumentation industrielle.* Dunod, Paris, 1999. 834 pages, ISBN 2-10-004758-2.
24. Ghiauş, C. - *La conception assistee par Ordinateur.* UTCB, 1997.
25. Hans, Jurgen, Eysenek - *IQ teste de inteligenţă.* Editura Queen, 1998.
26. Ionescu, C.; Larionescu, S.; Popescu, D. - *Măsurarea mărimilor electrice,* UTCB, 1997.
27. Ionescu, C; Larionescu, S. - *Modelarea fizică a sistemelor automate.* Bul. Şt. al ICB, nr. 2, Bucureşti, 1986.
28. Ionescu, C; Larionescu, S. - *Identificarea proceselor dintr-un sistem multivariabil de tratament termic.* Bul. Şt. al ICB, nr. 2, Bucureşti, 1987.
29. Ionescu, C.; Ionescu, D. - *Comutaţia statică în automatizarea instalaţiilor.* ICB, 1981.
30. Ionescu, C.; Vlădeanu, V. - *Automatizarea instalaţiilor pentru construcţii.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1981.
31. Ionescu, C.; Vlădeanu, V.ş.a. - *Automatizări.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1982
32. Ionescu, C,; Larionescu, S. - *Automatizări. Sisteme Automate Discrete Logice.* UTCB, 1997.
33. Ionescu, C.; Noran, Ov. - *Tratarea statistică a erorilor de măsurare.* ICB, 1993.
34. Ionescu, C.; Slăvescu, M.; Caluianu, S. - *Măsurări în instalaţii.* ICB, 1990.
35. Ionescu, C.; Larionescu, S. - *Automatizări. Modele fizice şi analogice.* ICB, 1987.
36. Ionescu, C.; Ionescu, D. ş.a. - *Îndrumător de proiectare pentru automatizarea instalaţiilor,* Vol. I, II, ICB, 1981, 1982.
37. Ionescuuu C., Larionescu S., Caluianu S., Popescu D., Automatizarea Instalaţiilor. Comenzi Automate, Matrix Rom, Bucureşti 2002.
38. Ionescu C., Larionescu S., Decizii prin simulare în reţelele Petri temporizate, Simpozionul Ştiinţa Modernă şi Energia, Universitatea Tehnică Cluj Napoca, 1992.
39. Ionescu C., Larionescu S., Ghiauş C., Implementarea pe Automate Programabile a Reţelelor Petri sigure, a XXIV-a Conferinţă de Instalaţii, Sinaia, 1990.
40. Ionescu C., Larionescu S., Reţele Petri şi Grafcet, Conferinţa a VII-a, Facultatea de Instalaţii, Bucureşti, 2001.
41. Ionescu C., Larionescu S., Simularea Sistemelor Discrete Logice cu Evoluţie Paralelă, a XXV-a Conferinţă de Instalaţii, Sinaia, 1991.
42. Ionescu C., Larionescu S., Întocmirea Caietelor de Sarcini pentru Instaaţii de Automatizare prin GRAFCET, Construcţii, nr. 9, 1984.
43. Jack H., Automating Manufacturing Syste, http://claymore.engineer.gvsu.edu/,2005.
44. Larionescu, S. - KitSAS - *Simularea şi Analiza sistemelor.* Editura Matrix Rom, Bucureşti, 1999.
45. Larionescu S., Compararea Grafcetului cu reţeaua Petri, Măsurări şi Automatizări, nr. 3, 2001.
46. Larionescu S., Ionescu C., Implementarea Caietului de Sarcini GRAFCET cu automate programabile, Simpozion SIEAR, Bucureşti, 18 noiembrie, 1994.
47. Larionescu S., Ionescu C., Proiectarea automatelor cu contacte şi relee prin metoda automatului elementar, Sesiunea ştiinţifică instalaţii montaj, Bucureşti, 25-26 mai, 1984.
48. Larionescu S., Sinteza sistemelor discrete logice cu evoluţie paralelă, A XXV-a Conferinţă de Instalaţii, Sinaia, 1992.
49. Larionescu S., Teoria sistemelor, Matrix Rom, Bucureşti, 2006.
50. Larionescu S., Proiectarea Sistemelor de Conducere cu Automate Programabile, a 41-a Conferinţă Naţională de Instalaţii, Sinaia, 19-21 octombrie, 2006.
51. Larionescu S., Programarea Automatelor de tip maşină de stare, a 41-a Conferinţă Naţională de Instalaţii, Sinaia, 19-

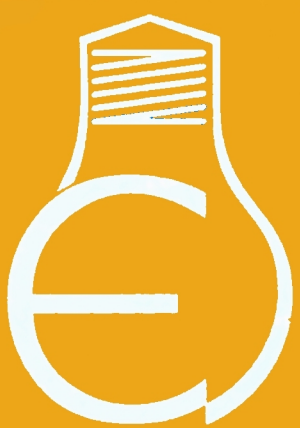
21 octombrie, 2006.
52. Lazăr, C. - *Conducerea asistată de calculator a proceselor tehnice.* Editura Matrix Rom, Bucureşti, 1997.
53. Mange, D. - *Analyse et synthése des systémes logiques.* Dumond, Paris, 1981.
54. Manolescu, P. ş.a. - *Măsuri electrice şi electronice.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1979.
55. Millea, A. - *Măsurări electrice, principii şi metode.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1980.
56. Moroldo, D. - *Iluminatul urban.* Editura Matrix Rom, Bucureşti, 1999.
57. Nicolau, Edm. ş.a. - *Manualul inginerului electronist. Măsurări electronice.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1979.
58. Nicolau, Edm.; Beliş, M. - *Măsurări electrice şi electronice.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1984.
59. Novac, I. ş.a. - *Maşini şi acţionări electrice.* Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1983.
60. Palma, R. - *Algebra binară a lui Boole şi aplicaţiile ei în informatică* (traducere din limba franceză). Editura Tehnică, Bucureşti, 1976.
61. Păstrăvanu, O. - *Sisteme cu evenimente discrete Tehnici calitative bazate pe formalismul reţelelor Petri.* Editura Matrix Rom, Bucureşti, 1997.
62. Popescu, D. - *Contribuţii la conducerea ierarhizată a instalaţiilor din clădiri.* Teză de doctorat. UTCB, 1998.
63. Popescu, D. - *Norme utilizate în transmisia numerică a informaţiei,* Revista Măsurări şi Automatizări, nr. 2/2001, pag. 52-54, Editura Artecno Bucureşti, ISSN 1582-2834.
64. Popescu, D. - *Automatizări în construcţii, Matrix Rom Bucureţti, 2006, ISBN (10)973-755-071-4*
65. Popescu, D. - *Automate Programabile, Matrix Rom, Bucureşti, 2005,* ISBN 973-685-942-8.
66. Popescu, D. - *Conducerea automată a instalaţiilor de încălzire solară pentru prepararea apei calde menajere.* Revista Instalatorul nr.3/2008, pag. 14-16, ARTECNO Bucureşti.
67. Popescu, D. ş. a. - *Aspecte specifice automatizării instalaţiilor de încălzire solare.* Revista Instalatorul nr.7-8/2007, pag. 28-31, ARTECNO Bucureşti.
68. Popescu, D. ş. a. - *Conducerea automată a instalaţiei de încălzire solare cu două câmpuri de captatoare solare.* Revista Măsurări&Automatizări nr.1/2008, pag.52-54, ARTECNO Bucureşti.
69. Popescu, D. - Aspecte ale funcţionării automate a centralelor termice. Revista Măsurări&Automatizări nr.5/2007, pag. 36-38, ARTECNO Bucureşti.
70. Potter, D. - *Signal Conditioning Fundamentals for PC - Based Data Acquisition Systems - Orizonturi în instrumentaţie,* Vol. 1, Nr. 2, 1993.
71. Puşcaşu, S.; Marcovici, J. - *Mărimi şi regimuri electrice nesinusoidale.* Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1984.
72. Rumşiski, L.Z. - *Prelucrarea matematică a datelor experimentale* (traducere din limba rusă). Editura Tehnică, Bucureşti, 1974.
73. Sufrim, M. ş.a. - *Mijloace moderne de protecţie împotriva tensiunilor accidentale în instalaţiile electrice de joasă tensiune,* Oradea, 2000.
74. Şerban, S. - *Teoria sistemelor: Vol. I, II,* Editura Matrix Rom. Bucureşti, 1997.
75. Şerban, S. - *Teoria sistemelor. Culegere de probleme.* Editura Matrix Rom, , 1997.
76. Tiron, M. - *Prelucrarea statistică şi informaţională a datelor de măsurare.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1976.
77. Todoran, I. - *Tratarea matematică a datelor experimentale.* Editura Academiei, Bucureşti, 1976;
78. Taconet B., Chollot B., Programmation du Grafcet sur automate a langage logique, a ralais ou booleen, Automatisme, feb., 1997.
79. Toulotte J.M., Reseaux de Petri et automate programmables, Automatisme, aug., 1978.
80. Vasilache, G. - *Sisteme de protecţie împotriva tensiunilor electrice accidentale.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1980.

81. *** *Normativ pentru proiectarea, execuţia şi exploatarea instalaţiilor electrice sub 1000V în c.a. şi 1500 V în c.c. I-7-2002*
82. *** *Normativ privind protecţia construcţiilor împotriva trăsnetului. I-20-2000*
83. *** *Memoratorul inginerului electrician - Siemens.* Traducere în limba română. Editura Tehnică, Bucureşti.
84. *** *Normativ pentru proiectarea şi executarea sistemelor de iluminat artificial din clădiri,* 2002.
85. *** *Normativ pentru proiectarea sistemelor de iluminat rutier şi pietonal,* 2002.
86. *** *PE 112/93 Normativ pentru proiectarea instalaţiilor de curent continuu din centrale şi staţii electrice.*
87. *** *Access Control Systems-Philips. Comunication & Security Systems.*
88. *** *Antifurto,* 1997-1998
89. *** *International Fire and Security News,* 1997-1998.
90. *** *Buletinul pompierilor* 1996-1998.
91. *** *Manual de utilizare: Eff-Eff - Germania, Northern Computers; Keri Szstems; Philips; Motorola; Kantech; Tesa; Koba Systems; Mitsubishi Electric; Linear Industries; Aritech; Bewator A.B.*
92. *** *CNR-CEI Dicţionarul terminologiei Electrotehnice Standardizate - român-englez; englez-român.* Editura Tehnică, Bucureşti, 1996.
93. *** *Instrucţiuni tehnice pentru stabilirea puterilor nominale economice ale transformatoarelor din posturi,* 1993.
94. *** Donald G. Fink, H. Waine Beaty; *Standard Handbook for Electrical Engineers,* Thirteenth Edition, Mc. Graw-Hill Inc., New York.
95. *** *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (BIPM, IEC, ISO, OIML)* Geneva, ed. 150/1984.
96. *** *STAS 737/1...15 (standard pe părţi). Sistemul Internaţional de Unităţi (SI).*
97. *** *Sistemul Internaţional de Unităţi (SI).* Ediţia a III-a în limba română. Editura Academiei Române, Bucureşti, 1989.
98. *** *STAS 100852-86. Unităţi de măsură care nu fac parte din sistemul internaţional de unităţi (SI).*
99. *** *STAS 10085/1, 3-75. Conversiunea valorilor numerice dintr-un sistem de unităţi în altul. Metode generale de conversiune. Tabele de conversiune.*
100. *** *The New Lexicon Webster's Encyclopedic Dictionary of the English Language.* De luxe Edition 1991, Lexicon

Publication, Inc. New York.
101. *** *Sisteme de automatizare și monitorizare pentru punctele termice ale RADET București. Documentație tehnică ELSACO Electronic București,* 2001.
102. *** *Sistem ierarhizat,* cu automat programabil TSX 17-20 (SCHNEIDER ELECTRIC), *pentru conducerea unei instalații de încălzire;*
103. *** *Sistem ierarhizat,* cu automate programabile APC 702 (Automatica SA) conectate în rețea PROFIBUS, *pentru asigurarea și monitorizarea serviciilor în camerele unui hotel;*
104. *** *Sistem ierarhizat pentru supraveghere și alarmare la incendii,* realizat cu centrala MICRO-SAM (Automatica SA).
105. Raymond, J.P., Minne, J - *Les schemas d'automatisme, Theorie et pratique,* Dunot Paris, 1983.
106. *** *Ghid pentru proiectarea automatizării instalațiilor din centrale și puncte termice,* Indicativ I 36-01.
107. *** Cataloage de produse
    - Philips, Helukabel, OBO Bettermann;
    - Legrand, Phoenix Contact, Rehau, Schrack;
    - Schneider Electric, Tehalit, Hilti, Erico;
    - Eaton Moeller Electric.
108. SR EN 61082 - 1+A1+A2 (CEI 61082 - 1+A1+A2): *Elaborarea documentelor utilizate în electrotehnică, Partea 1: Prescripții generale,* ASRO, Asociația de Standardizare din România, ediția 1, 2000.
109. SR EN 61082 - 2 (CEI 61082-2): *Elaborarea documentelor utilizate în electrotehnică, Partea 2: Scheme adaptate la funcție,* ASRO, Asociația de Standardizare din România, ediția 1, 2002.
110. SR EN - 60617: 1999: *Simboluri grafice pentru scheme electrice.* Corespondent CEI 60617: 1983.
111. SR EN 61346 - 1: 1998 (EN 61346-1-1996): *Sisteme industriale, instalații și echipamente și produse industriale. Principii de structură și identificări de referință.* Partea 1: Reguli de bază.
112. Mc001/II-4-2006 Metodologia de calcul a performanței energetice a instalațiilor de iluminat.
113. Legea 372/2005 privind performanța energetică a clădirilor.

artecno

www.artecno.ro



ISBN 978-973-85936-5-7
ISBN 978-973-85936-9-5