|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  | **Profesionālās izglītības kompetences centrs RĪGAS VALSTS TEHNIKUMS** |

**Vladimirs Meļņikovs**

**ELEKTROAPGĀDE**

**Lekciju konspekts**

**RĪGA,2012**

PRIEKŠVĀRDS

Elektroapgādes uzdevums ir nepieciešamā daudzumā nodrošināt patērētājus ar pietiekamas kvalitātes enerģiju. Elektroapgāde sevī ietver šādus pamatelementus: elektrostacijas elektroenerģijas ražošanai; elektropārvades līnijas un kabeļu tīklus elektroenerģijas pārvadīšanai un sadalīšanai; spriegumu paaugstinošās un pazeminošās transformatoru apakšstacijas; elektroenerģijas patērētājus rūpniecībā, transportā, celtniecībā un sadzīvē.

Mūsdienu sarežģītā tehnika un darba nemitīgā saspringtība prasa no katra sagatavota vidējā posma speciālista ne tikai noteiktas vispārīgas teorētiskās zināšanas, bet galvenokārt, prasmi tās radoši izmantot un pastāvīgi pilnveidot praksē.

Tas nozīmē, ka izglītojamiem studiju laikā jāiegūst dziļas un noturīgas zināšanas, jāattīsta izziņas spējas, jāformē tehniskā domāšana, jāiegūst specialitātē nepieciešamā darba prasme un praktiskās iemaņas.

Kā norāda mūsdienu pedagoģiskā teorija un prakse, kā arī zinātniski - eksperimentālo pētījumu rezultāti, tad stabilu un apzinātu zināšanu apgūšanas, izziņas aktivizēšanas un tehniskās domāšanas attīstības procesu pamatā ir tikai katra izglītojama pastāvīga un sistemātiska, bet noteikti – pedagoga vadībā aktīvi organizēta mācību darbība.

Šajā nolūkā daļējai mērķa sasniegšanai tika sagatavots metodiskais materiāls, kas ir izveidots kā mācību līdzeklis priekšmetā „Energoapgāde” un paredzēts patstāvīgai vielas apgūšanai.

Grāmata sastāv no priekšvārda un desmitām nodaļām: elektroapgādes sistēmas; gaisvadu un kabeļu līnijas; zemsprieguma tīklu aizsardzība; elektriskās slodzes; iekšējie tīkli ar spriegumu līdz 1000 V; īsslēguma strāvas; transformatoru apakšstacijas; jaudas un enerģijas zudumi; pārspriegumi elektroapgādes sistēmas un aizsardzība pret tiem; elektroiekārtu zemēšana.

Grāmatas saturs atbilst Rīgas Valsts tehnikuma īstenojamai programmai „Enerģētika un elektrotehnika”.

Mācību līdzekļa otrā daļa satur 444 lpp. teksta, 393 attēlus, 135 tabulas un 50 nosaukuma informācijas avotus.

**SATURS**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Priekšvārds | | | | | | | 2 | |
|  | Saturs | | | | | | | 3 | |
| 1. | Elektroapgādes sistēmas | | | | | | | 7 | |
|  | 1.1. | | Elektroapgādes nozīme | | | | | 7 | |
|  | 1.2. | | Vispārējās ziņas par 110/330 kV gaisvadu līnijām Latvijā | | | | | 7 | |
|  | 1.3. | | Elektroenerģijas patērētāji un to parametri | | | | | 9 | |
|  | 1.4. | | Elektroenerģijas kvalitāte | | | | | 14 | |
|  | 1.5. | | Elektroapgādes drošums | | | | | 19 | |
|  | 1.6. | | Elektrisko sistēmu un tīklu struktūras | | | | | 21 | |
|  | 1.7. | | Elektrisko tīklu veidi un to pielietošana | | | | | 23 | |
|  | 1.8. | | Elektroapgādes tīklu spriegumi | | | | | 25 | |
|  | 1.9. | | Elektrisko tīklu shēmas izvēle | | | | | 28 | |
|  | 1.10. | | Elektroenerģijas izmantošanas noteikumi | | | | | 29 | |
|  | 1.11. | | Jaudas un enerģijas zudumi elektroapgādes sistēmas elementos | | | | | 31 | |
|  | 1.12. | | Sprieguma zudums un sprieguma kritums | | | | | 35 | |
|  | 1.13. | | Elektroapgādes sistēmu projektēšana, montāža un ekspluatācija | | | | | 37 | |
| 2. | Gaisvadu un kabeļu līnijas | | | | | | | 38 | |
|  | 2.1. | | Vispārīgas ziņas | | | | | 38 | |
|  | 2.2. | | Vadi un kabeļi gaisvadu elektropārvades līnijām. | | | | | 38 | |
|  |  | | 2.2.1. | Kailvadi. | | | | 38 | |
|  |  | | 2.2.2. | Piekarkabeļa (AMKA) sistēma ar neizolēto nesošo nullvadu | | | | 40 | |
|  |  | | 2.2.3. | Piekarkabeļa sistēma ar izolēto nesošo nullvadu | | | | 41 | |
|  |  | | 2.2.4. | Četru izolēto vadu sistēma | | | | 42 | |
|  |  | | 2.2.5. | Izolēto vadu sistēmas vidēja sprieguma elektrotīkliem | | | | 43 | |
|  | 2.3. | | Zemsprieguma gaisa vadu tīkla līnijas | | | | | 43 | |
|  | 2.4. | | Kabeļu līnijas | | | | | 52 | |
|  |  | | 2.4.1. | | | | Spēka kabeļi | 52 | |
|  |  | | 2.4.2. | | | | Spēka kabeli ar gumijas izolāciju | 58 | |
|  |  | | 2.4.3. | | | | Kontrolkabeļi | 59 | |
|  |  | | 2.4.4. | | | | Kabeļu markas izvēle | 60 | |
|  |  | | 2.4.5. | | | | Kabeļu līniju izbūves veidi | 60 | |
|  | 2.5. | | Izolēti vadi | | | | | 64 | |
|  | 2.6. | | Vadu silšana un atdzišana | | | | | 66 | |
|  | 2.7. | | Kailvadu silšana un atdzišana | | | | | 67 | |
|  | 2.8. | | Izolētu vadu un kabeļu izvēle pēc silšanas | | | | | 68 | |
|  | 2.9. | | Vada šķērsgriezuma izvēle | | | | | 69 | |
|  |  | | 2.9.1. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc sprieguma zuduma | | | | | 69 | |
|  |  | | 2.9.2. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc ilgstoši pieļau­jamās slodzes | | | | | 71 | |
|  |  | | 2.9.3. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc termiskās izturības īs­slēguma gadījumos | | | | | 72 | |
|  |  | | 2.9.4. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc mehāniskās izturības | | | | | 72 | |
|  |  | | 2.9.5. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc pārslodzes | | | | | 73 | |
|  | 2.10 | | Trīsfāzu līnijas sprieguma zuduma aprēķins | | | | | 79 | |
| 3. | Zemsprieguma tīklu aizsardzība | | | | | | | 89 | |
|  | 3.1. | | Vadu un kabeļu aizsardzība pret silšanu | | | | | 89 | |
|  | 3.2. | | Drošinātāji | | | | | 89 | |
|  |  | | 3.2.1. | | | NH sistēmas drošinātāji | | 92 | |
|  |  | | 3.2.2. | | | Diazed, Neozed, Silized un „D” tipa drošinātāji | | 98 | |
|  |  | | 3.2.3. | | | Vidēja sprieguma drošinātāji | | 100 | |
|  |  | | 3.2.4. | | | Drošinātāju izvēle | | 102 | |
|  | 3.3. | | Automātslēdži | | | | | 104 | |
|  |  | | 3.3.1. | | | Automātslēdža darbības princips | | 105 | |
|  |  | | 3.3.2. | | | Automātslēdžu raksturojošie parametri | | 108 | |
|  |  | | 3.3.3. | | | Automātslēdžu selektīva darbība | | 113 | |
|  |  | | 3.3.4. | | | Automātslēdžu izvēle | | 116 | |
|  | 3.4. | | Svirslēdži | | | | | 119 | |
|  | 3.5. | | Paketslēdži | | | | | 122 | |
|  | 3.6. | | Kontaktori | | | | | 123 | |
|  |  | | 3.6.1. | | | Definīcija, lietošana | | 123 | |
|  |  | | 3.6.2. | | | Līdzstrāvas kontaktori | | 124 | |
|  |  | | 3.6.3. | | | Maiņstrāvas kontaktori | | 126 | |
|  | 3.7. | | Releji | | | | | 131 | |
|  |  | | 3.7.1. | | | Darbības princips, galvenie parametri | | 131 | |
|  |  | | 3.7.2. | | | Releju uzbūves pamatprincipi | | 133 | |
|  |  | | 3.7.3 | | | Elektromagnētiskie releji | | 134 | |
|  |  | | 3.7.4. | | | Līdzstrāvas elektromagnētiskie releji | | 135 | |
|  |  | | 3.7.5. | | | Maiņstrāvas elektromagnētiskie releji | | 137 | |
|  |  | | 3.7.6. | | | Polarizētie releji | | 140 | |
|  |  | | 3.7.7. | | | Elektromagnētisko releju izvēle un salīdzinājums | | 140 | |
|  |  | | 3.7.8. | | | Herkonu releji | | 141 | |
|  |  | | 3.7.9. | | | Elektromagnētiskie un elektroniskie laika releji | | 141 | |
|  |  | | 3.7.10. | | | Termoreleji | | 144 | |
|  |  | | 3.7.11. | | | Releju izvēle | | 148 | |
|  | 3.8. | | Magnētiskie palaidēji | | | | | 149 | |
|  |  | | 3.8.1. | | | Asinhronā dzinēja tiešā palaišana | | 150 | |
|  |  | | 3.8.2. | | | Asinhronā dzinēja reversīvā palaišana | | 152 | |
|  |  | | 3.8.3. | | | Magnētisko palaidēju izvēle | | 153 | |
|  | 3.9. | | Apgaismošanas tīkla strāvas aprēķins | | | | | 155 | |
|  | 3.10. | | Apgaismošanas tīklu aizsardzība | | | | | 158 | |
|  | 3.11. | | Spēka elektrisko tīklu aizsardzība | | | | | 160 | |
|  | 3.12. | | Vadu un kabeļu šķērsgriezumu izvēle | | | | | 161 | |
| 4. | Elektriskās slodzes | | | | | | | | 163 |
|  | 4.1. | Pamatjēdzieni | | | | | | | 163 |
|  | 4.2. | Iekārtas darbības režīmi un elektroiekārtu klasifikācija | | | | | | | 164 |
|  | 4.3. | Uzstādītā, nominālā un aprēķina jauda | | | | | | | 165 |
|  | 4.4. | Vispārīgas ziņas par slodžu grafikiem | | | | | | | 165 |
|  | 4.5. | Diennakts slodžu grafiki | | | | | | | 167 |
|  | 4.6. | Gada slodzes ilguma grafiks | | | | | | | 168 |
|  | 4.7. | Enerģijas zudumi tīklā un transformatoros | | | | | | | 170 |
|  | 4.8. | Elektrisko slodžu aprēķina metodes | | | | | | | 172 |
|  | 4.9. | Slodžu aprēķins spēka elektriskajos tīklos | | | | | | | 181 |
|  | 4.10. | Daudzdzīvokļu māju elektroapgādes sistēmu slodzes noteikšana | | | | | | | 191 |
|  | 4.11. | Apgaismošanas elektrisko tīklu patērētāju slodzes aprēķins | | | | | | | 207 |
|  | 4.12. | Apgaismes tīkla aprēķins uz minimālo vadu materiāla patēriņu | | | | | | | 212 |
|  | 4.13. | Pieļaujamie sprieguma zudumi apgaismes tīklos atkarība no slodzes jaudas un transformatora noslodzes | | | | | | | 213 |
| 5. | Iekšējie tīkli ar spriegumu līdz 1000 V | | | | | | | | 221 |
|  | 5.1. | Iekšējo tīklu shēmas | | | | | | | 221 |
|  |  | 5.1.1. | | | Maģistrālās iekšējo tīklu shēmas | | | | 221 |
|  |  | 5.1.2. | | | Radiālās iekšējo tīklu shēmas | | | | 223 |
|  |  | 5.1.3. | | | Jauktās iekšējo tīklu shēmas | | | | 223 |
|  | 5.2. | Iekšējo tīklu konstrukcijas | | | | | | | 224 |
|  |  | 5.2.1. Tīklu konstrukciju klasifikācija | | | | | | | 224 |
|  |  | 5.2.2. Kopņvadi. | | | | | | | 224 |
|  |  | 5.2.3. Troleju līnijas. | | | | | | | 231 |
|  | 5.3. | Dzīvojamo un sabiedrisko ēku iekšējie tīkli | | | | | | | 236 |
|  |  | 5.3.1. Elektrouzņēmēji. | | | | | | | 236 |
|  |  | 5.3.2. Ēku elektrisko tīklu ierīkošanas pamatprincipi | | | | | | | 237 |
|  |  | 5.5.3. Iekšējo tīklu konstruktīvais izveidojums. | | | | | | | 245 |
|  |  | 5.3.4. Standarta aprīkojums mājoklim | | | | | | | 248 |
|  |  | 5.3.5. Ēku vadības sistēma | | | | | | | 252 |
|  | 5.4. | Elektroinstalācija. | | | | | | | 254 |
|  |  | 5.4.1. Elektroinstalācija. | | | | | | | 254 |
|  |  | 5.4.2. Iekšējās instalācijas piederumi un shēmās pieņemtie apzīmējumi | | | | | | | 255 |
|  |  | 5.4.3. Telpu iedalījums | | | | | | | 258 |
|  |  | 5.4.4. Vispārīgas prasības elektroinstalācijai un tās izbūves noteikumi | | | | | | | 258 |
|  |  | 5.4.5. Iekšējās instalācijas piederumi | | | | | | | 260 |
|  |  | 5.4.6. Kabeļu līnijas | | | | | | | 261 |
| 6. | Īsslēguma strāvas | | | | | | | | 262 |
|  | 6.1. | 5.5.1. Pamatjēdzieni | | | | | | | 262 |
|  | 6.2. | Īsslēguma strāvas aprēķina metodes | | | | | | | 265 |
|  | 6.3. | Īsslēguma strāvas zemsprieguma tīklos | | | | | | | 267 |
|  | 6.4. | Īsslēguma strāvas aprēķins zemsprieguma tīklos | | | | | | | 269 |
|  | 6.5 | Vadu termiskās izturības pārbaude | | | | | | | 273 |
|  | 6.6. | Vadu termiskas stabilitātes pārbaude | | | | | | | 275 |
|  | 6.7. | Isslēguma strāvu aprēķins zemsprieguma tiklu sākumposmā | | | | | | | 277 |
| 7. | Transformatoru apakšstacijas | | | | | | | | 279 |
|  | 7.1. | Apakšstaciju tipi | | | | | | | 279 |
|  | 7.2. | Apakšstaciju izvietošanas principi | | | | | | | 280 |
|  | 7.3. | Apakšstaciju shēmas | | | | | | | 284 |
|  |  | 7.3.1. Shēmu iedalījums un izpildījums | | | | | | | 284 |
|  |  | 7.3.2. Apakšstaciju sadales principshēmas | | | | | | | 285 |
|  | 7.4. | Masta transformatoru punkti | | | | | | | 291 |
|  | 7.5. | Sadales konstruktīvais izveidojums | | | | | | | 294 |
|  | 7.6. | Zemsprieguma sadales | | | | | | | 295 |
|  | 7.7. | Transformatoru apakšstaciju komponējums | | | | | | | 297 |
|  |  | 7.7.1. Galvenās pazeminošās apakšstacijas (GPA) | | | | | | | 297 |
|  |  | 7.7.2. Apakšstacijas 6…10/0,4 kV | | | | | | | 298 |
|  | 7.8. | Transformatoru izvēle apakšstacijās | | | | | | | 301 |
|  |  | 7.8.1. Transformatora tipa izvēle | | | | | | | 301 |
|  |  | 7.8.2. Transformatoru skaita izvēle | | | | | | | 303 |
|  |  | 7.8.3. Transformatora nominālās jaudas izvēle | | | | | | | 303 |
|  |  | 7.8.4. Transformatoru (autotransformatoru) izvēle rajona apakšstacijai. | | | | | | | 308 |
|  |  | 7.8.5. Ceha transformatoru izvēle | | | | | | | 310 |
|  | 7.9. | Elektrisko lielumu mērījumi apakšstacijas | | | | | | | 318 |
|  |  | 5.15.1. Elektroenerģijas uzskaite | | | | | | | 318 |
|  |  | 5.15.2. Pārējo elektrisko lielumu mērījumi | | | | | | | 324 |
| 8. | Jaudas un enerģijas zudumi | | | | | | | | 325 |
|  | 8.1. | Elektroenerģijas un jaudas zudumu aprēķins elektriskajos tīklos | | | | | | | 326 |
|  | 6.2. | Elektroenerģijas zudumi transformatoros | | | | | | | 329 |
|  | 8.3. | Sprieguma novirze elektriskajā tīklā un tās ietekme uz patērētāju darbu | | | | | | | 330 |
|  | 8.4. | Elektriskas sistēmas elementu ietekme uz sprieguma novirzi | | | | | | | 333 |
|  | 8.5. | Sprieguma noviržu tabulas sastādīšana | | | | | | | 338 |
|  | 8.6. | Zemsprieguma tīkla pārbaude asinhronā elektrodzinēja palaišanas brīdī | | | | | | | 339 |
|  | 8.7. | Vada aktīvā pretestība | | | | | | | 342 |
|  | 8.8. | Vada induktīvā pretestība | | | | | | | 343 |
|  | 8.9. | Vada kapacitīvā vadītspēja | | | | | | | 344 |
|  | 8.10. | Līdzstrāvas un maiņstrāvas apgaismošanas divvadu līniju aprēķins | | | | | | | 345 |
|  | 8.11. | Sprieguma kritums un sprieguma zudums maiņstrāvas līnijā | | | | | | | 347 |
|  | 8.12. | Trīsfāzu līnijas sprieguma zuduma aprēķins, ja slodze ir līnijas beigās | | | | | | | 348 |
|  | 8.13. | Sprieguma zuduma aprēķins trīsfāzu līnijai ar vairākām slodzēm | | | | | | | 349 |
|  | 8.14. | Trīsfāzu maiņstrāvas maģistrāle ar visā līnijas garumā vienāda šķērsgriezuma vadiem | | | | | | | 349 |
|  | 8.15. | Trīsfāzu maiņstrāvas tīkla aprēķins, ievērojot minimālo vada materiāla patēriņu | | | | | | | 350 |
|  | 8.16. | Elektroenerģijas zudumu ietekme uz pārvades pašizmaksu | | | | | | | 351 |
|  | 8.17. | Ekonomiskais strāvas blīvums | | | | | | | 352 |
|  |  | 8.17.1. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc sprieguma zuduma | | | | | | | 355 |
|  |  | 8.17.2. Gaisvadu līnijas aprēķins | | | | | | | 356 |
|  |  | 8.17.3. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc silšanas | | | | | | | 357 |
|  |  | 8.17.4. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc termiskās izturības īs­slēguma  gadījumos | | | | | | | 358 |
|  |  | 8.17.5. Kabeļa termiskā izturība | | | | | | | 358 |
|  | 8.18. | Tīkla darbības drošums atkarībā no patērētāja kategorijas | | | | | | | 359 |
|  | 8.19. | Jaudas koeficienta nozīme elektroenerģijas zudumu samazināšanā | | | | | | | 360 |
|  | 8.20. | Reaktīvās jaudas kompensēšana | | | | | | | 360 |
|  |  | 8.20.l. Reaktīvās jaudas kompensēšanas paņēmieni | | | | | | | 360 |
|  |  | 8.20.2. Kompensatoru izvietošana un pieslēgšanas shēmas | | | | | | | 360 |
|  |  | 8.20.3. Kompensatoru aprēķins | | | | | | | 361 |
|  |  | 8.20.4. Izlādes pretestības aprēķins | | | | | | | 363 |
|  | 8.21. | Slēgto elektrisko tīklu aprēķins | | | | | | | 366 |
|  |  | 8.21.1. Slēgto elektrisko tīklu iedalījums, priekšrocības un trūkumi | | | | | | | 366 |
|  |  | 8.21.2. Divpusēji barota līnija | | | | | | | 366 |
| 9. | Pārspriegumi elektroapgādes sistēmas un aizsardzība pret tiem | | | | | | | | 372 |
|  | 9.1. | Pārspriegumu veidi un to bīstamība | | | | | | | 372 |
|  | 9.2. | Aizsardzība pret tiešiem zibens spērieniem | | | | | | | 373 |
|  | 9.3. | Pārsprieguma aizsardzība ar izlādņiem | | | | | | | 382 |
|  | 9.4. | **Pārsprieguma novadītāji nelineārie** | | | | | | | 386 |
|  | 9.5. | Ēkas iekšējo komunikāciju aizsardzība no pārsprieguma | | | | | | | 389 |
|  | 9.6. | Zibens un pārsprieguma novadītāji | | | | | | | 393 |
|  | 9.7. | Statiskā elektrība un aizsardzība pret to | | | | | | | 400 |
|  |  | 9.7.1. Statiskās elektrības rašanās un bīstamība | | | | | | | 400 |
|  |  | 9.7.2. Aizsardzība pret statisko elektrību | | | | | | | 401 |
| 10. | Elektroiekārtu zemēšana | | | | | | | | 404 |
|  | 10.1. | Zemēšana | | | | | | | 404 |
|  | 10.2. | Zemēšanas veidi | | | | | | | 405 |
|  | 10.3. | Izplūdes strāva un tās ceļi. | | | | | | | 409 |
|  | 10.4. | Pieskarspriegums un soļa spriegums | | | | | | | 410 |
|  | 10.5. | Potenciālu izlīdzināšana. | | | | | | | 411 |
|  | 10.6. | Zemētājietaises struktūra un tas elementu izveidojums | | | | | | | 412 |
|  | 10.7. | Zemējumietaisēm noteiktie normatīvie lielumi | | | | | | | 414 |
|  | 10.8. | Zemētāji un zemēšanas pievadi | | | | | | | 416 |
|  | 10.9. | Zemējums kā drošību paaugstinošs faktors dažāda neitrā­les režīma tīklos | | | | | | | 418 |
|  | 10.10. | Zemētāju aprēķins | | | | | | | 419 |
|  | 10.11. | Stieņa zemējuma metode | | | | | | | 428 |
|  | 10.12. | Speciālo veidu telpas un iekārtas | | | | | | | 429 |
|  |  | 10.12.1. Telpas ar vannu un dušu | | | | | | | 429 |
|  |  | 10.12.2. Apjumtie peldbaseini un peldierīces brīvā dabā | | | | | | | 431 |
|  |  | 10.12.3. Saunu iekārtas | | | | | | | 432 |
|  |  | 10.12.4. Būvlaukumi | | | | | | | 433 |
|  |  | 10.12.5. Lauksaimniecības un dārzkopības lauku īpašumi | | | | | | | 434 |
|  |  | 10.12.6. Ugunsbīstamās ražotnes | | | | | | | 435 |
|  |  | 10.12.7. Eksplozijas bīstamās darba zonas | | | | | | | 437 |
|  |  | 10.12.8. Medicīniski izmantotas telpas | | | | | | | 439 |
|  |  | 10.12.9. Telpu veidu un darba zonu apskats | | | | | | | 441 |
|  | Literatūras saraksts | | | | | | | | 443 |
|  |  |  | | | | | | |  |

**1. NODAĻA**

**ELEKTROAPGĀDES SISTĒMAS**

**1.1. ELEKTROAPGĀDES NOZĪME**

Elektroenerģiju ražo elektrostaciju ģeneratori, bet elektroenerģijas patērētāji atrodas dažādos attālumos no tās ražošanas vietām. Lai elektroenerģiju pārvadītu no ražošanas vietām līdz atsevišķiem patērētājiem, jāizveido racionālas elektroap­gādes shēmas. *Elektroapgādes uzdevums* ir nepieciešamā daudzumā nodrošināt patērētājus ar pietiekamas kvalitātes elektroenerģiju.

Tātad par **elektroapgādi** sauc patērētāju nodrošināšanu ar elektroenerģiju.

Elektroietaišu kopumu, kas nodrošina patērētājus ar elektroenerģiju, sauc par **elektroapgādes sistēmu.** Vienlaikus tā veic enerģijas sadali un elektroenerģijas parametru nepieciešamo pārveidošanu.

Elektrostacijas izmanto tikai trīsfāžu sinhronos ģeneratorus ar 6,3, 10,5 un 21 kV spriegumu, kuri dod rūpnieciskās frekvences (50 Hz) maiņspriegumu, bet elektroapgādes sistēmas uzdevums ir iegūt elektroenerģiju ar patērētāju vaja­dzībām atbilstošiem parametriem — strāvas veidu, frekvenci, spriegumu.

Elektroapgādes sistēmas galvenās sastāvdaļas ir sadales elektriskais tīkls un transformatoru apakšstacijas (AS), tajā var ietilpt sadales punkti (SP) un pārveidotājapakšstacijas (PA). Atsevišķos gadījumos elektroapgādes sistēmā ietilpst vie­tējas nozīmes elektrostacijas.

Elektroapgādes sistēma aptver teritoriju, kurā izvietoti patērētāji. Izšķir rūp­niecības uzņēmumu, pilsētu un lauku elektroapgādes sistēmas.

Vispārīgais kritērijs, kas nosaka šo sistēmu īpatnības, ir slodzes blīvums.

Rūpniecības uzņēmumos tas ir 50-200 W/m2 un vairāk. Tur raksturīgs neliels līniju vidējais garums, ievērojama AS jauda (1000 kVA transformatori). Laukos slo­dzes blīvums ir mazs — 1,5-10 W/m2, līniju garums liels, nelielas jaudas AS ar 63-250 kVA transformatoriem.

Rūpniecības vajadzībām kopā ar elektrostaciju pašpatēriņu izmanto ap 40%, lauksaimniecībā — ap 15%, transportā — ap 5% no visas saražotās elektroenerģijas. Ievērojama daļa rūpniecības uzņēmumu atrodas pilsētās, kurās bez tam ir liels elektroenerģijas patēriņš kultūras un sadzīves, transporta, ūdensapgādes un citām vajadzībām.

Rūpniecības uzņēmumu elektroapgādes sistēmās pārsvarā izbūvē kabeļu, bet lauku elektroapgādes sistēmās – gaisvadu līnijas. Atšķirībā no lauku un pilsētu patērētājiem rūpniecības uzņēmumos var būt līdzstrāvas, pazeminātas un paaugstinātas frekvences vai vienfāzes maiņstrāvas spēka patērētāji. Atsevišķās rūpniecī­bas nozarēs šādu patērētāju īpatsvars var būt sevišķi liels, piemēram, alumīnija elektrolīze, vara rafinēšana, metālu augstfrekvences karsēšana. Starp rūpniecības uzņēmumu lieljaudas patērētājiem bieži sastopami augstsprieguma dzinēji, elektrokrāsnis ar individuāliem transformatoriem un citas augstsprieguma iekārtas.

**1.2. VISPĀRĒJĀS ZIŅAS PAR 110/330 kV GAISVADU LĪNIJĀM LATVIJĀ.**

Visas Latvijas teritorijā esošās 330 kV un 110 kV elektropārvades līnijas, apakšstacijas un sadales punktus apkalpo AS "Augstsprieguma tīkls".

Viens no augstsprieguma tīkla" pamatuzdevumiem ir nodrošināt tā valdījumā esošo iekārtu bezatteices darbību un patērētāju nepārtrauktu apgādi ar elektroenerģiju, pieļaujot minimālus ekspluatācijas izdevumus. Lai sekmīgi varētu pildīt pamatuzdevumu ir jāveic arī citi loti nozīmīgi pasākumi -līniju, apakšstaciju un sadales punktu ekspluatācija, apkope un remonts.

*Pārvades tīkls*. VAS “Latvenergo” filiāle “Augstsprieguma tīkls” ir Latvijas Pārvades Sistēmas Operators un Pārvades Tīkla pakalpojumu sniegšanas uzņēmums visā valsts teritorijā - Ekskluzīvā licence. Pārvades tīkla viens no galvenajiem uzdevumiem ir droša elektroenerģijas pārvade. “Augstsprieguma tīkla” attīstības mērķis ir veidot politiku, kas nodrošinās uzņēmumam ilgstošu attīstību. Pārvades tīkla attīstības politika izstrādāta pamatojoties uz Latvijas Republikas valdības politiku enerģētikā un VAS “Latvenergo” attīstības programmu līdz 2012.gadam un biznesa attīstības stratēģiju.

|  |
| --- |
|  |

1.1. att. Latvijas energosistēma

|  |
| --- |
|  |

# 1.2. att. Elektroenerģijas piegādes struktūras Latvijā

1.1. tabula

**Elektropārvades līnijas**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Spriegums | Gaisvadu līnijas | Kabeļu līnijas |
| 330 kV | 1247.9 km | - |
| 110 kV | 3953.8 km | 33.1 km |
| Kopā | 5201.7 km | 33.1 km |

1.2. tabula

**Augstsprieguma līniju optimālās jaudas**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Spriegums | UN kV | 110 | 330 | 500 | 750 |
| Vadu skaits fāzē | gab. | 1 (2) | 2 | 3 | 4 |
| Maksimālā jauda | MW | 50 | 650 | 900 | 2200 |
| Līnijas garums | km | 160 | 300 | 1200 | 20 000 |

1.3. tabula

**Apakšstacijas un apakšstaciju iekārtas**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Spriegums | Apakšstaciju skaits | Transformatoru skaits | Transformatoru jauda |
| 330 kV | 14 | 19 | 2825 MVA |
| 110 kV | 115 | 235 | 4079.8 MVA |
| Kopā | 129 | 254 | 6904.8 MVA |

# Elektroenerģijas sadale. VAS “Latvenergo” pamatuzdevuma - Latvijas iedzīvotāju un tautsaimniecības drošas apgādes ar kvalitatīvu elektroenerģiju - izpildē nepārvērtējama loma ir sadales tīkliem. Septiņām sadales tīklu filiālēm (1.3. att.) –

## Austrumu elektriskie tīkli (AET),

## Centrālie elektriskie tīkli (CET),

## Dienvidu elektriskie tīkli (DET),

## Rietumu elektriskie tīkli (RET),

## Rīgas elektrotīkls (RT),

## Ziemeļaustrumu elektriskie tīkli (ZAET)

## Ziemeļu elektriskie tīkli (ZET)

kā pamatfunkcija ir noteikta elektroenerģijas piegāde klientiem pa vidējā sprieguma un zemsprieguma sadales tīklu.

**1.3. ELEKTROENERĞIJAS PATĒRĒTĀJI UN TO PARAMETRI**

Elektroenerģijas pārvade un sadale, tās parametru pārveidošana un patēriņš ir savā starpā saistīti fizikāli procesi. Līdz ar to, pro­jektējot, ierīkojot un ekspluatējot elektroapgādes sistēmu, jāzina patērētāju parametri un citi raksturlielumi.

Elektroenerģijas patērētāji ir visai daudzveidīgi. Tos var klasi­ficēt pēc šādām pazīmēm.

1. Pēc lietošanas jomas. Pēc šīs pazīmes izšķir rūpniecības, lauksaimniecības, transporta, sadzīves un citus patērētājus.
2. Pēc pārvietošanas iespējām. Lielākā daļa patērētāju ir stacionāri, bet sastopami arī mobilie patērētāji, pie kuriem pieder celtņi, manipulatori, lifti, ekskavatori, dragas, ogļu ieguves kombaini, dziļurbji, rokas instrumenti, transporta līdzekļi ar elektropiedziņu, kuri pārvietojas pa noteiktiem maršrutiem vai ierobežotā zonā, u. c.
3. Pēc elektroenerģijas pārveidošanas veida. Galvenās patērētāju klases pēc šīs pazīmes ir

* elektriskā apgaismošana un apstarošana,
* elektriskā piedziņa un citu veidu elektromehāniskās iekārtas,
* pārveidotājiekārtas un
* elektrotehnoloģiskās iekārtas.

|  |
| --- |
| 1.3. att. |

1. Pēc darba režīma. Ja slodze laikā mainās, tad pēc elektrouzņēmēju ieslēgšanas ilguma izšķir trīs darba režīmu pamatveidus

* ilgstošo,
* īslaicīgo un
* atkārtoti īslaicīgo režīmu.

Režīma ilgumu novērtē relatīvās vienībās attiecībā pret elektrouzņēmēja ieslēgšanas laiku. Ja elektrouzņēmēja slodze darba laikā mainās, tad vispārīgā gadījumā pilnu tā darba režīma raksturojumu dod slodzes grafiks. Lai racionāli izvēlētos elektroapgādes shēmu, atse­višķa grupā izdala elektrouzņēmējus ar triecienslodzi.

1. Pēc strāvas veida un frekvences. Pēc šis pazīmes izšķir līdzstrāvas patērētājus un maiņstrāvas patērētājus ar pazeminātu (<50 Hz), rūpniecisko (50 Hz), paaugstinātu (50-10000 Hz) frekvenci, augstfrekvenci (10-150 kHz) un radiofrekvenci (0,15-100 MHz).

Galvenie līdzstrāvas patērētāji ir līdzsprieguma piedziņas, elektrolīzes iekārtas, iekšējais elektriskais transports, daļa loka krāšņu un citu elektrotehnoloģisko ietaišu.

Pazeminātas frekvences patērētāji sastopami retāk. Tādi ir elektromagnētiskās tērauda maisīšanas iekārtas kausēšanas krāsnīs, dažu veidu metināšanas agregāti.

Paaugstinātas frekvences (līdz 400 Hz) spriegumu izmanto elektriskajiem rokas instrumentiem, lai samazinātu to masu, ātrgaitas centrifūgām un kokapstrādes darbmašīnām (līdz 20000 min-1), savukārt 500-10000 Hz paaugstinātas frekvences spriegumu - metālu caurkarsēšanai ar indukcijas strāvu;

Augstfrekvences 2-100 kHz spriegumu — metālu virsmas karsēšanai ar indukcijas strāvu;

Radiofrekvences spriegumu — dielektriķu karsēšanai ar polarizācijas strāvu.

1. Pēc darba strāvu stipruma. Atsevišķi izdala elektrouzņēmējus, kuru darba strāva pārsniedz 1000 A. Ja spriegums ir 0,4; 6,3 un 10 kV, šāda strāva atbilst trīsfāžu elektrouzņēmējiem attiecīgi ar jaudu aptuveni 700 kV∙A, 10 MV∙A un 20 MV∙A. Stiprstrāvas elektrouzņēmēji raksturīgi galvenokārt rūpniecības uzņēmumiem.
2. Pēc barošanas sprieguma lieluma. Patērētājus, tāpat kā visas elektroietaises, iedala grupā ar spriegumu līdz 1000 V un grupā ar spriegumu virs 1000 V. Atbilstoši grupām lieto nosaukumus «zemsprieguma patērētāji» un «augstsprieguma patērētāji». Elektrouzņē­mēju darba spriegums parasti atbilst tīkla standartspriegumam.

Visbiežāk zemsprieguma patērētājiem lieto 380 V trīsfāžu, 220 V un 380 V vienfāzes maiņspriegumu un 220 V un 440 V līdzspriegumu; augstsprieguma patērētājiem — 6 kV un 10 kV vienfāzes un trīsfāžu maiņspriegumu. Visaugstākais atsevišķa elektrouzņēmēja spriegums ir 110 kV, piemēram, lieljaudas krāšņu barošanai.

8. Pēc barošanas pārtraukuma bīstamības. Atkarībā no pieļaujamā barošanas pārtraukuma ilguma izšķir pirmās, otrās un trešās kategorijas patērētājus. Visatbildīgākos patērētājus pieskaita pie pirmās kategorijas. Patērētāju barošanas pārtraukums nedrīkst pārsniegt laiku, kāds nepieciešams tās atjaunošanai attie­cīgi 1, 2 un 3 kategorijas patērētājiem vai nu ar automātikas palīdzību, vai izdarot operatīvos pārslēgumus, vai veicot remontu (ne ilgāk par diennakti).

Elektrouzņēmēju raksturošanai lieto arī skaitliskus parametrus, kurus ieraksta to pasēs. Pases datus sauc par no­minālajiem. Galvenie elektrouzņēmēju parametri ir jauda, spriegums un frekvence. Elektrouzņēmēji var būt paredzēti ilgstošam vai atkārtoti īslaicīgam darba režīmam, un pasē to jaudas dod atbilstošajam režīmam. Lai varētu salīdzināt dažāda režīma elektrouzņēmēju jau­das, tās jāņem vienādiem režīmiem. Parasti šai nolūkā izvēlas ilg­stošo darba režīmu. Šī režīma jaudu sauc par ekvivalento nominālo jaudu, bet gadījumos, kad nevar rasties pārpratumi, īsāk — par nominālo jaudu.

Līdzstrāvas ķēdē nominālo jaudu raksturo ar vienu lielumu *PN*, bet maiņstrāvas ķēdē — ar aktīvo jaudu *PN* un ar atbilstošo jaudas koeficientu cos*φN* vai pilno jaudu *SN* un cos*φN*. Dzinējiem aktīva nominālā jauda ir lietderīgā jauda uz vārpstas. Dzinēja no tīkla patērējamās aktīvās jaudas jeb uzstādītās jaudas aprēķinam lieto lietderības koeficientu η.

Nominālajā režīmā

 (1.1)

kur *Pu* — uzstādītā jauda.

Jāpiebilst, ka ar sinhronā dzinēja pilno nominālo jaudu *SN* sa­prot tā uzstādīto jaudu. Visiem pārējiem elektrouzņēmējiem nomi­nālā jauda ir reizē arī uzstādītā jauda.

Elektriskās iekārtās darba režīmi ekspluatācijas apstākļos ir ļoti dažādi. Iekārtas var strādāt ilgstoši ar pilno slodzi (piemēram, ģeneratori elektrostacijās, ventilatori, sūkņi un konveijeru dzinēji), īslaicīgi (piemēram, celtņu dzinēji) vai arī ar periodiski atkārtotu slodzi (piemēram, metālgriešanas darbmašīnu, transporta ierīču dzinēji). Izvēloties elektriskās iekārtas jaudu, jāievēro tas darbības īpatnības dažādos ekspluatācijas apstākļos.

Lai vienkāršotu elektriskās iekārtas jaudas izvēli, vadoties no silšanas, visus patērētājus un atbilstoši elektrisko iekārtu darba režīmus iedala 3 raksturīgos režīmos, bet elektriskās mašīnas 8 raksturīgos režīmos, kurus apzīmē *S*1-*S*8.

Strāvu vadošās daļas temperatūra *θ* veidojas no apkārtējās vides temperatūras *θ*0 un virstemperatūras ϑ (strāvu vadošās daļas un apkārtējās vides temperatūru starpība):

*θ = θ*0 + *Θ*. (1.2)

Tādēļ vadītājiem un elektroiekārtām bez ilgstoši pieļaujamās temperatūras *θpieļ* normē arī vides nominālo temperatūru *θ*0*N* un ilgstoši pieļaujamo virstemperatūru ϑ*pieļ*.

Ilgstoši pieļaujamā virstemperatūra noteikta kā divu pārējo normēto temperatūru starpība:

*Θpieļ* = *θpieļ* - *θ*0*N*. (1.3)

*S*1— ilgstošs darba režīms ar nemainīgu slodzi, kuras ilgums ir pietiekams aparāta termiskā līdzsvara sasniegšanai. Elektroiekārtas darbības periods ir tik liels, ka tā sasniedz stacionāro virstemperatūru *Θ = Θ*∞ = const. Šajā režīmā iekārtas slodzes grafiks *P = f*1(*t*) un jaudas zudumu grafiks Δ*P* = *f*2(*t*) ir abscisu asij paralēla taisne. Elektroiekārtas virstemperatūras izmaiņu tad attēlo silšanas līkne 1.4. attēlā.

1.5. attēlā parādītas elektriskās iekārtas silšanas līknes dažāda lieluma ilgstošām slodzēm. Ikviena atdotās jaudas vērtība (*P*3 < *P*2 = *PN* < *P*1) saistīta ar tai atbilstošu jaudas zudumu vērtību un tātad ar citu stacionāro virstemperatūru *Θ*∞.

Darbojoties ar jaudu *P*3 elektroiekārta nav termiski apdraudēta, jo *Θ*∞3 < *Θmax*, bet tā darbojas neekonomiski. Siltuma ziņā elektroiekārta ir pilnīgi izmantota tikai tad, kad tā attīsta nominālo jaudu *PN = P*2, jo tad *Θ*∞ = *Θmax*. Tādējādi elektroiekārtas nominālā jauda *PN*, kas dota tās pasē, ir vislielākā jauda ar kādu iekārta var strādāt, tas tinuma izolācijas temperatūrai nepārsniedzot ilgstoši pieļaujamo temperatūru, ja apkārtējas vides temperatūra ir 400C. Mašīnu pārslogojot (*P*1 > *PN*), tinumu izolācija netiek termiski apdraudēta tikai tad ja mašīnu slogo ar jaudu *P*1 > *PN* īslaicīgi, t.i., laika sprīdi *t*1.

Ja apkārtējās vides temperatūra ir zemāka par 400C, tad mašīna var ilgstoši slogot virs nominālās jaudas *PN*, bet ja vides temperatūra ir augstāka par 400C, tad ilgstošai slodzei jābūt mazākai par *PN*.

*S*2— īslaicīgs režīms ar nemainīgu slodzi, kuras ilgums nav pietiekams ter­miskā līdzsvara sasniegšanai un slodzei sekojošās pauzes ilgums ir tik liels, ka elektriskās mašīnas sastāvdaļas temperatūras izmaiņa attiecībā pret dzesētājaģenta temperatūru iekļaujas ±10C robežās. *S*2 režīmam raksturīgs, ka slodzes iedarbības laikā mašīnas temperatūra ne­paspēj sasniegt stacionāro vērtību θ∞, bet slodzes pārtraukumā atdziest līdz apkār­tējās vides temperatūrai (1.6. att.).

|  |  |
| --- | --- |
| 1.4. att. Silšanas process ilgstošā darba režīmā ar nemainīgu slodzi (S1) | 1.5. att. Elektriskās mašīnas silšanas līknes  dažādām ilgstošām slodzēm |

Standarti nosaka slodzes ilgumu *td*: 10, 30, 60, 90 min. Slodzes ilgumu obligāti jāparada mašīnas darba režīma apzīmējumā, piemēram, S2 – 30 min, S2 – 60 min.

Lai elektrisko mašīnu termiski pilnībā noslogotu, *θpieļ = θ*∞ *= θmax*. Tātad īslaicīgā režīmā var palielināt elektriskās mašīnas slodzi *P* tā, lai *θ*∞ *= θmax*. Tā kā maksimālā virstemperatūra

 un 

slodzi var palielināt *n* reizes



kur *RT* — koeficients, kas raksturo siltuma plūsmas pretestību.

*S*3 — pārtraukumaini ciklisks režīms: elektriskās mašīnas režīms ar secīgiem identiskiem cikliem, no kuriem katrs ietver darbību ar nemainīgu slodzi un bezsprieguma miera stāvokli. Šajā režīmā palaides strāva jūtami neietekmē mašīnas silšanu. S3 režīmā slodzes laikā mašīnas temperatūra nesasniedz stacionāro vērtību, bet pauzes laikā nepaspēj atdzist līdz apkārtējās vides temperatūrai (1.7. att.).

Atkārtoti īslaicīgo režīmu raksturo ar relatīvo ieslēgšanas ilgumu *ε*, ko bieži izsaka procentos:

 (1.4)

kur *td* — slodzes ilgums, *t*0 — atslēguma ilgums, *tc* = *td +t*0 – cikla ilgums. Standarti nosaka *ε* vērtības: 15, 25, 40, 60% ar cikla *tc* laiku 10 min. 1.7. attēlā redzams, ka *θmax* < *θ*∞, tātad arī šajā režīmā var palielināt iekārtas slodzi.

|  |  |
| --- | --- |
| 1.6. att. Silšanas process īslaicīgā režīmā (S2) | 1.7. att. Silšanas process S3 režīmā |

Šī režīma ekvivalento nominālo jaudu atrod no pases datiem:

vai  (1.5)

kur *PN* un *SN* — ekvivalentā aktīvā un ekvivalentā pilnā nominālā jauda; *Pp* un *Sp* — aktīvā un pilnā jauda pēc pases datiem; *εp* — relatīvais ieslēgšanas ilgums.

Formulas (1.5) fizikālā jēga ir tāda, ka ilgstošā režīmā elektrouzņēmējs var darboties ar atkārtoti īslaicīgā režīma jaudas vidējo kvadrātisko vērtību.

Patērētāju grupas svarīgākie parametri ir slodzes blīvums un īpatnējais elektroenerģijas patēriņš. Slodzes blīvums ir patērētāju jauda, kas vidēji tiek izmantota uz patērētāju aizņemtā laukuma vienību:

 (1.6)

kur *σ* — slodzes blīvums; *P* — kopējā aktīvā patērētāju jauda; *F* — patērētāju aizņemtais laukums, piemēram, ceha laukums, lauksaim­nieciski izmantojamā zeme.

Rūpniecības uzņēmumiem ir liels slodzes blīvums, pilsētām un laukiem tas ir ievērojami mazāks.

Īpatnējais elektroenerģijas patēriņš ir vidējais noteikta laika ap­rēķinātais elektroenerģijas daudzums, kas izmantots vienas produk­cijas daudzuma vienības ražošanai:

 (1.7)

kur *w* — īpatnējais elektroenerģijas patēriņš, kW∙h/pr.vien.; *W* — elektroenerģijas patēriņš noteiktā laikā, kW∙h; N — šajā laika sa­ražotais produkcijas daudzums (*t*, m3, m2, gab. u. tml.). Slodzes blīvumu un īpatnējo elektroenerģijas patēriņu izmanto aplēses slo­dzes noteikšanai. Šajā ziņā svarīgi, ka abus lielumus var noteikt ar mērījumiem. Īpatnējo elektroenerģijas patēriņu bez tam lieto racio­nālu elektroenerģijas patēriņa normu noteikšanai.

**1.4. ELEKTROENERĞIJAS KVALITĀTE**

Elektroapgādes sistēmas jebkura sprieguma tīkla dažādos pun­ktos sakarā ar sprieguma kritumiem sistēmas elementos spriegumam ir dažādas vērtības. Šīs vērtības mainās līdz ar patērētāju slodzes izmaiņām. Tātad arī darba spriegums uz elektrouzņēmēju spailēm dažādos sistēmas punktos ir atšķirīgs un laika mainīgs. Biežas un salīdzinājumā ar barošanas ķēdes caurlaides spēju pietiekami lielas slodzes izmaiņas izraisa arī frekvences svārstības uz elektrouzņēmēju spailēm. Patērētāju darba efektivitāte ir atkarīga no sprieguma un frekvences svārstībām, un to optimālais darba režīms atbilst nomi­nālajam spriegumam un frekvencei. Bez tam nominālais darba re­žīms maiņstrāvas ķēdēs atbilst sinusoidālām sprieguma un strāvas izmaiņas līknēm un simetriskai trīsfāžu sistēmai. Elektrouzņēmēji ar nelineāru voltampēru raksturlīkni kropļo strāvas un sprieguma izmaiņas līknes. Tādi elektrouzņēmēji ir piedziņas sistēmas ar tiristoriem, luminiscences spuldzes u. c. Iekārtas ar nelineāru magnetizēšanas, līkni, piemēram, elektriskās mašīnas un transformatori, arī zināmā mērā kropļo strāvu un spriegumu līkņu formu. Bez tam vien­fāzes elektrouzņēmēji (metināšanas transformatori, loka krāsnis u. c.) rada trīsfāžu strāvu sistēmas asimetriju. Asimetriju rada arī nelineārie elektrouzņēmēji, turklāt vispārīgā gadījumā neatkarīgi no fāžu noslodzes vienmērības. Tā, piemēram, luminiscences apgaismes gadījumā var panākt vienmērīgu fāžu noslodzi, taču strāva tīkla nullvadā saglabājas. Neliela asimetrija piemīt arī elektrostaciju ģe­neratoriem. Sprieguma un frekvences atšķirības no nominālajiem lielumiem, spriegumu sistēmas asimetrija un spriegumu nesinusoidalitāte pasliktina elektrouzņēmēju un elektroapgādes sistēmas ele­mentu darbu, rada tehnoloģijas traucējumus vai ir brāķa cēlonis. Nevēlamās parādības novērš vai vismaz zināmās pieļaujamās robe­žās ierobežo to nevēlamo ietekmi ar dažādiem tehniskiem paņēmie­niem. Lielākā dala no tiem jārealizē elektroapgādes projektēšanas gaitā. Šie paņēmieni jālieto arī ekspluatācijā. Lai mērķtiecīgi un koordinēti šos paņēmienus realizētu, ir ieviests elektroenerģijas kvalitātes jēdziens. Galvenos kvalitātes parametrus dažāda veida tīklos nosaka valsts standarts.

Trīsfāžu maiņsprieguma tīklā elektroenerģijas kvalitātes rakstu­rošanai saskaņā ar šo standartu izmanto sešus normētus paramet­rus:

sprieguma novirzi uz patērētāju spailēm,

sprieguma svārstības,

frekvences novirzi,

frekvences svārstības,

sprieguma nesinusoidalitāti un

trīsfāžu spriegumu sistēmas asimetriju.

Vienfāzes tīklā elek­troenerģijas kvalitāti nevērtē pēc pēdējā parametra, bet līdzstrāvas tīklā izmanto pirmos divus parametrus kopā ar pulsācijas koefi­cientu. Bez parametru normēšanas standartā noteikti vēl daži pa­pildu ierobežojumi gadījumos, kad normējamie parametri ir savstar­pēji atkarīgi.

Visbiežāk jāsastopas ar normēto ***sprieguma novirzi***. To nosaka kā elektrosadales tīkla punkta sprieguma atšķirību no nomi­nālā sprieguma. Izsakot sprieguma novirzi procentos no nominālās vērtības, to var lietot, nenosaucot tīkla nominālo spriegumu:

 (1.8)

kur *V* — sprieguma novirze, %; *U* — sprieguma tekošā efektīvā vērtība uz elektrouzņēmēja spailēm; *UN* — nominālais tīkla sprie­gums.

Sprieguma novirze var būt pozitīva vai negatīva atkarībā no tā, vai faktiskais spriegums ir lielāks vai mazāks par nominālo. Sprie­guma novirzi var lietot arī tīkla tekošā sprieguma vietā. Sprieguma svārstības vienmēr izsaka ar pozitīvu skaitli.

Pieļaujamās sprieguma novirzes pie dažādiem elektrouzņēmējiem ir atšķirīgas. Tas noteiktas tīkla normālam un pēcavārijas režīmam.

Normālā režīmā vismazākās sprieguma novirzes noteiktas ražošanas telpu sabiedrisko ēku un brīvgaisa prožektorgaismas tīklos uz spul­džu spailēm — no -2,5% līdz +5%; uz dzinēju un to palaišanas un vadības aparātu spailēm — no -5% līdz +10%, bet uz visu pārējo elektrouzņēmēju spailēm ±5%. Sprieguma novirzes pie dzi­nējiem, kas pieslēgti lauku elektriskajiem tīkliem (izņemot lopkopī­bas kompleksus, kurus pielīdzina rūpniecības uzņēmumiem), ir pieļaujamas no -7,5% līdz +10%, bet pie pārējiem elektrouzņēmējiem - ±7,5% intervālā.

Pēcavārijas režīma pieļauta papildu 5% sprieguma pazemināšanās pie visiem elektrouzņēmējiem.

**Sprieguma svārstības**. Novirze laika vienībā raksturo sprieguma izmaiņas ātrumu. Sprieguma svārstības ir saistītas ar īslaicīgu triecienslodžu un īsslēgumu iedarbes rezultātu elektriskajā tīklā, kas baro EP ietaisi.

Par sprieguma svārstību dotajā elektriska tikla punkta sauc sprieguma starpību šai punktā līdz cēlonim un pēc cēloņa, kas izraisījis sprieguma izmaiņu.

Sprieguma svārstības nosaka pēc šādas izteiksmes:

 (1.9)

kur *Ui*, *Ui*+1 - atbilstoši cits aiz citas sekojošas sprieguma ekstrēmumu vērtības (1.8. att.).

Sprieguma svārstības var būt jebkuras formas un amplitūdas ar atkārtošanās biežumu no 2 reizēm minūtē līdz vienai stundas laikā, kuru vidējais izmaiņas ātrums ir lielāks par 0,1%/s- kvēlspuldzēm un 0,2%/s -visiem pārējiem elektrouzņēmējiem.

Sprieguma novirze vairāk saistīta ar stacionāru režīmu, sprieguma svārstības - ar pārejas procesu.

Sprieguma svārstības ir normētas tikai uz spuldžu un radioiekārtu spailēm. To pieļaujamās vērtības nosaka atkarībā no svār­stību biežuma.

|  |
| --- |
|  |

1.8. att. Process, kas raksturo sprieguma svārstības

Sprieguma svārstības ar frekvenci, kura atbilst augstam acs jutīguma apgabalam, izsauc gaismas mirguļošanu un ir ļoti nepatīkama pat, ja ir neliela svārstību amplitūda. Ir noskaidrots, ka vislielākais acs jutīgums pret gaismas mirguļošanu atrodas 8,7 Hz frekvenču diapazonā. Tas atbilst 1052 sprieguma izmaiņām minūtē jeb 17 svārstībām sekundē.

**Frekvences novirze** un **frekvences svārstības.** Tāpat kā sprieguma novirzi un sprieguma svārstības definē arī *frekvences novirzi* un *frekvences svārstības*. Saskaņā ar Valsts standartu trīs fāžu maiņstrāvas frekvences novirzei no nominālās vērtības jābūt noteiktās robežās:

Δ*f* = *f - fnom*. (1.10)

Normālos elektriskās sistēmas darba režīmos pieļauj frekvences novirzi

Δ*f* = ±0,2Hz;

Δ*fmaks* = ±0,4Hz.

At­šķirīgs ir tikai frekvences izmaiņas ātruma kritērijs. Ja izmaiņas āt­rums ir lielāks par 0,4%/s jeb 0,2 Hz/s, tad šīs izmaiņas sauc par svārstībām. Frekvences tekošā vērtība jānosaka kā vidējā vērtība 10 min ilga laika periodā. Normētās frekvences novirzes ir ±0,1 Hz. Uz laiku pieļautas divreiz lielākas novirzes. Neatkarīgi no frekvences novirzes tas svārstības nedrīkst pārsniegt 0,4% jeb 0,2 Hz.

**Sprieguma līknes nesinusoidalitāte**. Sprieguma un strāvas līkņu formas kropļojumus izraisa elektrisko sistēmu nelineārie elementi (1.9. att.). Nelineārie elementi (droseles, spoles ar feromagnētisku serdi, līdzstrāvas mašīnu 6 un 12 pulsāciju taisngrieži, lokizlādes elektrokrāsnis, lokmetināšanas aparāti u.c.) ir augstāko harmonisko avots, un izraisa sprieguma un strāvas līkņu formas kropļojumus. Sprieguma un strāvu nesinusoidālās līknes raksturo ar sarežģītām harmonisko svārstībām, kurām ir dažāda frekvence. Matemātiski šo procesu attēlo Furjē trigonometriskā rinda:

|  |
| --- |
|  |

1.9. att. Sprieguma līknes nesinusoidalitāte



kur *Uv* - sprieguma harmonisko sastāvdaļas; *n* - pēdējā no harmoniskajām, kuru ņem vērā; *v* - harmonisko kārta; *t* - laiks.

Augstākās harmoniskās var būt kā simetriskas, tā arī nesimetriskas. Pēdējās var iedalīt simetriskajos komponentos. Kā piemēru var minēt trīsfāžu transformatoru magnētvadus, kuri ir ne tikai nelineāri, bet arī nesimetriski. Tie izraisa magnetizējošo strāvu augstāko harmonisko nesimetriju.

Augstāko harmonisko klātbūtne elektroapgādes sistēmā nav vēlama, jo tās izsauc papildu enerģijas zudumus tīklu elementos, rada kondensatoru bateriju pārslodzes, apgrūtina releju aizsardzības ekspluatāciju u.c.

Sprieguma līknes nesinusoidalitāti raksturo ar augstāko harmonisko kārtas *v* sastāvu. Ja spriegumam augstākā harmoniskās efektīvā vērtība ir *Uv*, tad Valsts standarts nosaka šādu nesinusoidalitātes koeficientu:

 (1.11)

Trīsfāžu tīklos parasti rodas nepāra skaita augstākās harmoniskās. Ievērojams iespaids var būt harmoniskajām ar kārtu *v* = 3...13, t.i., *n* = 13. Pieļaujamā augstāko harmoniku koeficienta vērtība ir 5%.

NVS valstis nomināli pieļaujamie un maksimāli pieļaujamie nesinusoidalitātes koeficienta vērtības elektriskajā tīkla savienojuma punktos ar dažādiem nomināliem spriegumiem doti 1.4. tabulā.

1.4. tabula

**Nesinusoidalitātes koeficienta vērtības atkarība no nomināla sprieguma**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **nomināli pieļaujamie, ja tīkla**  **spriegums *UN*, kV** | | | | **maksimāli pieļaujamie, ja tīkla spriegums**  ***UN*, kV** | | | |
| 0,38 | 6...20 | 35 | 110...330 | 0,38 | 6...20 | 35 | 110...330 |
| 8,0 | 5,0 | 4,0 | 2,0 | 12,0 | 8,0 | 6,0 | 3,0 |

**Sprieguma nesimetrija**. Nesimetriskus fāžu spriegumus izraisa vienfāzes elektropatērētāju slodze. Nepieciešams izšķirt sprieguma nesimetriju vidējā sprieguma (VS) un zemsprieguma (ZS) tīklos. VS sadales tīkls parasti strādā ar izolētu vai kompensētu neitrāli. Šeit sprieguma nesimetrija ir saistīta ar apgrieztās secības sprieguma *U*2 parādīšanos (1.10. att.).

ZS četrvadu tīklos vienfāzes elektrouzņēmēji ir pieslēgti atsevišķo fāžu spriegumiem. Saskaņā ar fāžu dažādu noslodzi fāžu spriegumu simetrija tiek izjaukta, nullvadā parādās strāva, kā arī nullsecības spriegums (*U*0) (1.11. att.).

Trīsfāžu VS tīkla sprieguma sistēmas nesimetriju raksturo ar apgrieztās secības līnijas sprieguma relatīvo vērtību (%):

 (1.12)

kur  - apgrieztās secības sprieguma efektīvā vērtība;

, ,  - līnijas spriegumu kompleksās vērtības;

- fāžu reizulis.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 1.10. att. Vektoru diagramma tiešās un  apgrieztās secības sprieguma gadījumā. |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 1.11. att. Vektoru diagramma tiešās un nullsecības sprieguma gadījumā. |

Neitrāles nobīdi ZS tīklos nosaka nullsecības sprieguma relatīvā vērtība:

 (1.13)

kur  - nullsecības sprieguma efektīva vērtība;

, ,  - fāžu sprieguma kompleksās vērtības;

*UN.f* - nominālais fāžu spriegums.

Sprieguma apgrieztās un nullsecības nesimetriju Valsts standarts pieļauj ļoti nelielās robežās:

*ε*2 = *ε*0 = 2%.

Maksimāli ir pieļaujamas šādas vērtības: *ε*2 *maks* = *ε*0 *maks* = 4%.

Uz nepilnīgi slogotu asinhrono dzinēju spailēm tiek pieļauta asi­metrija vairāk par 2% un nesinusoidalitāte lielāka par 5%. Bet trīsfāžu tīklam, kas baro apgaismes iekārtas un sadzīves patērētājus, asimetrija noteikta tāda, lai apgrieztās secības un nullsecības iz­raisītās sprieguma novirzes kopā ar pārejām sprieguma novirzēm, ko rada tiešās secības strāvas, augstākas harmonikas un neitrāles novirze, nepārsniegtu normētās vērtības.

**Elektroenerģijas kvalitātes kontroles iekārtas**. Elektroenerģijas kvalitātes kontroles iekārtas: sprieguma kvalitātes analizators un pārnesamā mikroprocesora iekārta informācijas iegūšanai par sadales tīkla sprieguma režīma kvalitāti.

Sprieguma kvalitātes analizatoru izmanto plaša spektra elektroenerģijas kvalitātes datu iegūšanai un kontrolei.

1. Sprieguma novirze tiek reģistrēta pamatfrekvences tiešās secības sprieguma grafiku veidā ar 10 minūšu vidējo lielumu nogriežņiem. Dati tiek formēti arī histogrammu veidā.

2. Sprieguma nesimetrija. Tiek noteikti divi lielumi, kas raksturo nesimetriju: apgrieztās un nullsecības koeficienti. Abi lielumi tiek reģistrēti diennakts grafiku veidā no 10 min. vidējiem lielumiem. Tos formē arī histogrammu veidā.

3. Sprieguma pazeminājumi tiek fiksēti katrā 10 min. laika intervālā, ja šie pazeminājumi ir par 5% lielāki no tekošās sprieguma vērtības pēc dziļuma un ilguma.

4. Sprieguma līknes formas kropļojumi tiek attēloti ar nesinusoidalitātes koeficientiem un augstāko harmonisko īpatsvaru efektīvajā sprieguma vērtībā kā vidējie lielumi katrā 10 min. laika intervālā.

5. Sprieguma svārstību daudzums - flikers. Sprieguma svārstības tiek fiksētas flikeru veidā, kurā tiek ņemta vērā acs jutība pret sprieguma svārstībām apgaismes sistēmās ar kvēlspuldzēm. Aparāts fiksē vidējos lielumus pa 10 min. intervāliem.

6. Pārsprieguma impulsi. Aparāts fiksē tos impulsus, kurus indicē mērorgāns, strādājošs ar 1 kHz frekvenci, kā impulsu skaitu 10 min. laika intervālos.

7. Frekvence tiek noteikta kā vidējā vērtība 10s laika intervālos histogrammas veidā. Turklāt no šiem lielumiem tiek fiksētas maksimālās un minimālās vērtības katram 10 min. laika intervālam.

Pārnesamā mikroprocesora iekārta kontrolē sadales tīkla barošanas centra sprieguma regulatora darbības pareizību un sprieguma kvalitāti.

Rūpniecība izgatavo speciālas elektroenerģijas kvalitātes no­teikšanas iekārtas. Standarts nosaka, ka elektriskajās sistēmās elektroenerģijas kvalitāte jākontrolē ne retāk kā reizi ceturksnī.

**1.5. ELEKTROAPGĀDES DROŠUMS**

Elektriskie aparāti, mašīnas un līnijas, kas veido elektroapgādes sistēmu, tāpat kā citas tehniskas iekārtas, ieskaitot patērētāju teh­noloģisko daļu, mēdz bojāties. Dažreiz šādos gadījumos pārtraucas patērētāju barošana, bet citreiz bojājumi to neietekmē. Elektroap­gādes praksē bieži sastopama arī tāda situācija, kad sistēmas at­sevišķa elementa bojājums samazina tās caurlaides spēju. Tad pēc izvēles jāatslēdz daļa slodzes, lai saglabātu pārējo patērētāju baro­šanu un elektroapgādes sistēmas darbspēju. Parasti atslēdz mazāk atbildīgos patērētājus; to izvēli atvieglo elektrouzņēmēju iedalījums trīs kategorijās. Dažreiz vajadzīga arī sīkāka elektrouzņēmēju klasifikācija pēc elektroapgādes pārtraukuma izrai­sītām iespējamām nelabvēlīgām sekām.

Tehnisku iekārtu kvalitāti, arī to spēju strādāt bez bojājumiem var paaugstināt. Ja to tehniskais līmenis atbilst mūs­dienu prasībām, tad darba drošuma paaugstināšana gandrīz vien­mēr saistīta ar lieliem papildu izdevumiem. Izdevīgāk ir izmantot tehniskā līmeņa prasībām atbilstošas iekārtas un paredzēt zināmus izdevumus to uzraudzībai ekspluatācijā, remontam vai nomaiņai. Iz­mantojot šādas iekārtas, būtiski ir vēl divi faktori. Pirmais no tiem attiecas uz tādām tehniskām sistēmām, kas sastāv no atsevišķiem elementiem. Sistēmas darba drošums var būt lielāks par tās elementu darba drošumu. To panāk, piešķirot sistēmai vēlamu struktūru. Elek­troapgādes sistēmā vēlamo struktūru nodrošina, racionāli izvēloties elektrisko shēmu. Iespējama arī neveiksmīga shēmas izvēle, kad sis­tēmai ir mazāks darba drošums nekā tās elementiem. Lai samazi­nātu pareizai elektroapgādes shēmas izvēlei nepieciešamo darba ap­jomu, lietderīgi ir vadīties no drošuma teorijas atziņām. Otrs fak­tors ir specifisks elektroapgādes sistēmām: patērētāju tehnoloģiskās daļas darba drošums ir ierobežots, un tāpēc noteiktās vietās var ierobežot arī elektroapgādes drošumu.

Par elektroapgādes sistēmas drošumu sauc tās īpašību veikt pa­redzētas funkcijas, saglabājot savus ekspluatācijas raksturlielumus visos apstākļos, kuri minēti normatīvajos dokumentos. Līdzīgi de­finē arī elektroapgādes sistēmas elementu drošumu. Drošuma teo­rija gan sistēmai, gan tas elementiem izšķir divus savstarpēji neat­karīgus stāvokļus — darbspēju un atteici. Elektroapgādes sistēmas darbspēja ir tāds tās stāvoklis, kas nodrošina paredzēto funkciju veikšanu atbilstoši normas noteiktajiem režīma parametriem. Bez tam drošuma teorijā iekārtas iedala remontējamās un neremontējamas iekārtās. Remontējamām iekārtām atteices gadījumā darb­spēju var atjaunot, veicot remontu, neremontējamām — remonts nav lietderīgs vai nav realizējams. Sarežģītas (arī elektroapgādes) sis­tēmas pieder pie remontējamam sistēmām.

Izšķir divus atšķirīgus elektroapgādes drošuma novērtēšanas veidus - aprakstošo jeb kvalitatīvo un kriteriālo jeb kvantitatīvo no­vērtēšanu. Kvalitatīvi novērtējot drošumu, galvenos drošuma teo­rijas principus var realizēt, ja elektrouzņēmējus diferencē pēc to nozīmes ražošana vai sadzīve, t. i., tos iedala kategorijas. Kvantitatīvajā novērtēšanā izmanto skaitliskos drošuma kritērijus un pēc tiem nosaka optimālo risinājumu.

Kvalitatīvajā novērtēšanā galvenokārt vadās pēc elektrouzņēmēju drošuma kategorijas. Pie pirmās drošuma ka­tegorijas pieskaita tādus elektrouzņēmējus, kuru elektroapgādes pār­traukums apdraud cilvēku dzīvību, izraisa lielu tautsaimniecisku zau­dējumu, dārgas iekārtas bojājumus, sarežģītas tehnoloģijas traucē­jumus, masveida brāķi, traucējumus sevišķi svarīgu komunālās saimniecības elementu darbā. 1. kategorijas elektro­uzņēmēju apgādei jāizmanto divi neatkarīgi barošanas avoti. Pieļau­jams tikai tāds barošanas pārtraukums, kāds nepieciešams automā­tiskai rezerves barošanas ieslēgšanai. Par neatkarīgu sauc tādu barošanas avotu, kas saglabā spriegumu, ja to zaudē citi objekta barošanas avoti. Pie neatkarīgiem barošanas avotiem pieder elektroenerģētiskās sistēmas divu elektrostaciju un barošanas centru sa­dales iekārtas, kā arī vienas stacijas vai apakšstacijas dažādas kopņu sistēmas vai sekcijas, kuras katru baro no neatkarīga avota un kuras savā starpā var būt saistītas tikai ar bojājumu gadījumos automātiski atslēdzamu savienojumu. Izvēloties elektroapgādei ne­atkarīgus elektroenerģētiskās sistēmas barošanas avotus, tomēr jā­rēķinās, ka spriegums uz tiem var vienlaikus pazemināties vai pa­zust uz nelielo automātiskās bojājumu novēršanas un rezervēšanas iekārtas darbības laiku, kā arī ar nelielu varbūtību pazust ilgstoši.

No 1. kategorijas elektrouzņēmējiem vel ir izdalīti īpašās grupas elektrouzņēmēji, kuru elektroapgādes pārtraukums apdraud cilvēku dzīvību, rada sprādziena vai ugunsgrēka izcelsmes iespēju un dārgas tehnoloģiskās iekārtas bojājumus. Īpašās grupas elektrouzņēmēju barošanai paredz trešo neatkarīgo barošanas avotu (bieži autonomu, avārijas gadījumam). Taču tā jaudu ierobežo ekonomiski apsvērumi, un tāpēc to izraugās no nosacījuma, lai varētu bez avārijas apturēt ražošanu. Tātad īpašās grupas avārijas barošanas avotam ir neliela jauda un tas var būt mazāk ekonomisks salīdzinājumā ar diviem galvenajiem barošanas avotiem, tas var būt, piemēram, akumulatoru baterija, dīzeļagregāts, gāzturbīna. Praksē bez tam sastopami atse­višķi gadījumi, kad automātiska elektroapgādes rezervēšana nedod iespēju realizēt nepārtrauktu tehnoloģisko procesu. Tad lieto iekārtu tehnoloģiskās daļas rezervēšanu un katru no tehnoloģiskajiem agre­gātiem baro no neatkarīga avota.

Pie otrās drošuma kategorijas pieder tādi elektrouzņēmēji, kuru elektroapgādes pārtraukuma gadījumā rodas masveida produk­cijas izlaides samazināšanās, strādnieku, mehānismu un transporta masveida dīkstāve, liela skaita pilsētu un lauku iedzīvotāju nodar­bošanās traucējumi. Šīs kategorijas elektrouzņēmēju elektroapgādes pārtraukums nedrīkst pārsniegt laiku, kāds nepieciešams rezerves barošanas ieslēgšanai, dežūrpersonālam vai operatīvai brigādei vei­cot pārslēgumus. Līdz ar to 2. kategorijas elektrouzņēmēju baro­šanai izmanto divus neatkarīgus barošanas avotus. Otrās kategorijas barošanas avotus un elektroapgādes shēmu iespējams izvēlē­ties arī vairāk diferencēti, jo barošanas pārtraukums izraisa tikai materiālas dabas zaudējumus. Standarts pieļauj 2. kategorijas elektrouz­ņēmēju barošanu pa vienu 6 kV vai augstāka sprieguma gaisvadu līniju, pa vienu kabeļu līniju, ja tā izveidota no vismaz diviem para­lēliem kabeļiem un katrs no tiem pieslēgts ar saviem atdalītājiem, kā arī no viena transformatora, ja ir pārvietojams rezerves transfor­mators. Transformatora nomaiņa vai līnijas remonts robežgadījumā nedrīkst ilgt vairāk kā diennakti. Šeit ir ņemts vērā augsts transfor­matoru darba drošums, samērā augsts gaisvadu līniju darba drošums un iespēja tās samērā ātri izremontēt, kā arī pazemināts kabeļu līniju darba drošums un apgrūtināta to bojājumu novēršana.

Pie trešās drošuma kategorijas pieder pārējie elektrouzņēmēji, kurus neieskaita pirmajās divās kategorijās, piemēram, palīgcehu elektrouzņēmēji, nelieli ciemati. Trešās kategorijas elektrouzņēmējiem pieļaujams elektroapgādes pārtraukums uz bojātā elementa nomai­ņas vai remonta laiku, bet ne ilgāk kā 24 stundas. Sakarā ar to 3. kategorijas elektrouzņēmējiem barošanas rezervēšana netiek prasīta.

Drošuma kategorijas attiecas uz elektrouzņēmējiem jeb indivi­duālajiem patērētājiem. Elektrouzņēmēju drošuma kategorijas tiek dotas EIN un rokasgrāmatās, bet detalizētāks to uzskaitījums — specializēto projektēšanas institūtu normatīvajos dokumentos.

**1.6. ELEKTRISKO SISTĒMU UN TĪKLU STRUKTŪRAS**

Elektrostacijas ir izdevīgi savā starpā saistīt ar dažāda sprieguma elektropārvades līnijām un apakšstacijām, lai tās strādātu paralēli un uzņemtu kopēju slodzi.

Savā starpā saistītas elektrostacijas, elektropārvades līnijas, apakšstacijas un siltuma tīklus ar kopīgu režīmu un nepārtrauktu elektriskās enerģijas un siltuma enerģijas ražošanas un sadales procesu sauc par enerģētisko sistēmu jeb energosistēmu.

Elektro­enerģija patērētājiem tiek pievadīta centralizēti no energosistēmas. Tas palielina patērētāju elektroapgādes drošību un ekonomisko efektivitāti.

Energosistēmas režīmam, ieskaitot siltuma enerģijas ražošanu, ir kopīga vadība.

Energosistēmas daļu, kurā ietilpst ģeneratori, sadales iekārtas, dažāda sprieguma elektropārvades līnijas un apakšstacijas, kā arī elektroenerģijas patērētāji, sauc par elektroenerģētisko (elektrisko) sistēmu. Tātad elektriskajā sistēmā neietilpst energosistēmas termiskā un hidrauliskā daļa. Atsevišķās elektriskās sistēmas savieno ar augstsprieguma elektropārvades līnijām.

*Par apakšstaciju* sauc elektroietaisi, kas pārveido un sadala elektroenerģiju. Apakšstacijā ietilpst transformatori un citi elektroenerģijas pārveidotāji, sadales iekārtas ar spriegumu līdz 1000 V un virs tā.

***Transformatoru apakšstacijas.*** Dažādu sprieguma elektrolīniju saskares punktos atrodas transformatoru apakšstacijas, kurās pārveido līniju spriegumu, pārvada enerģiju dažādos virzienos un galvenais, nodrošina elektroenerģijas piegādi patērētājiem. Skaitliski vismazāk ir 330/110 kV transformatoru apakšstacijas, kurās ir uzstādīti autotransformatori, kas nodrošina enerģijas piegādi no Igaunijas, Lietuvas un Krievijas vai iespējas gadījumā pretēji – uz šīm kaimiņu valstīm, kā arī enerģijas sadali dažādiem Latvijas reģioniem. Līdzīgs uzdevums ir 330 kV sadales punktiem.

Praktiski visu valsts teritoriju aptver 110/20 (10) kV transformatoru apakšstacijas, kurās augstspriegumu – 110 kV pārveido vidējā spriegumā un pa pieslēgtajām līnijām pievada līdz patērētājiem. Skaitliski visvairāk ir pazeminošās apakšstacijas – 20/0,4 vai 10/0,4 kV, kuras atrodas tiešā patērētāju tuvumā. Kopējā bilance ir apmēram šāda:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Spriegums kV*** | ***A/staciju skaits*** | ***Kopējā jauda*** | ***Transformatoru skaits*** |
| 330/110 | 10 gab. | 2825 MVA | 19 gab. |
| 330 sad. punkti | 4 gab. | - | - |
| 110/20 (10) | 115 gab. | 4080 MVA | 235 gab. |
| 20/0,4 | 18 tūkst gab. | 3200 MVA | 19000 gab. |
| 6-10/0,4 | 2,8 tūkst gab. | 1500 MVA | 4600 gab. |

Visās šajās apakšstacijās ir ne tikai spēka transformatori, bet arī daudzveidīga komutācijas iekārta un aparatūra, aizsardzības aparatūra, signalizācijas, vadības un kontroles primārā un sekundārā aparatūra.

*Par sadales punktu* sauc apakšstaciju, kuras uzdevums ir saņemt un sadalīt elektroenerģiju, nemainot spriegumu, t. i., bez sprieguma transformēšanas.

Par elektrisko tīklu sauc elektroietaišu kopumu, kas paredzēts elektroener­ģijas pārvadei un sadalei. Tajā ietilpst apakšstacijas, sadales ietaises, strāvvadi, dažāda sprieguma gaisvadu un ka­beļu elektropārvades līnijas, kas atrodas noteiktā teritorijā.

Lielas jaudas lielos attālumos pārvada pa augstsprie­guma elektropārvades līnijām. Elektrostacijās uzstādīto ģeneratoru ražotā elektroenerģija ir ar samērā mazu sprie­gumu (6,3, 10,5, 21 kV). Arī nelielas jaudas elektroenerģijas patērētājus izgatavo nelielam spriegumam. Tāpēc elektro­stacijās ģeneratoru spriegumu paaugstina, bet pie patē­rētājiem spriegumu pazemina. Sprieguma paaugstināšanu un pazemināšanu veic transformatoru apakšstacijās.

Apskatām vienkāršotu elektroenerģijas pārvadīšanas un sadalīšanas shēmu (1.12. att.). Elektrostacijās ģeneratoru spriegumu paaugstina un pa augstsprieguma gaisvadu elektropārvades līniju pievada pazeminošai transformatoru apakšstacijai. Tālāk pa kabeļu

|  |
| --- |
| ***a*** |

|  |
| --- |
| ***b*** |

1.12. att. Elektroenerģijas pārvadīšanas shēma (*a*), elektroenerģijas pārvadīšanas elektriskā shēma (*b*)

līniju elektroenerģiju pie­vada sadales punktam (SP), no kura savukārt atzarojas kabeļu līnijas uz slēgta tipa patērētāju transformatoru apakšsta­cijām. Pa 0,4 kV kabeļiem elektroenerģiju sadala patē­rētajiem — dzīvojamām mājām, rūpnīcās uzstādītajiem elektrodzinējiem. Lauku apvidos patērētājiem elektroener­ģiju pievada galvenokārt pa gaisvadu līnijām.

Aplūkojam, energosistēmas shēmu (1.13. att.). Hidroelek­trostaciju (HES), rajona termoelektrostaciju (VRES) un termoelektrocentrāli (TEC) saista 110, 330 un 500 kV elektropārvades līnijas. HES ģeneratorus 500 kV līnijai L-l pievieno, izmantojot paaugstinošos 13,8/525 kV trans­formatorus; VRES ģeneratorus līnijām L-5, L-8 un L-9 pievieno, izmantojot 10,5/ 347 kV transformatorus; TEC ģeneratorus līnijām L-3 un L-4 pievieno, izmantojot 10,5/ 121 kV transformatorus. Atslēdzot jebkuru no minē­tajām līnijām, saite starp elektrostaciju un sistēmu netiek pārtraukta, jo augstsprieguma maģistrāles izveidotas kā loka līnijas (L-2, L-4, L-3) vai kā divķēžu līnijas (L-l, L-5, L-6). Uz patērētāju apakšstacijām D, E un F atiet līnijas L-8, L-9 un L-7.

Par barošanas centru sauc elektrostacijas sadales iekār­tas ar ģeneratoru spriegumu vai pazeminošās apakšsta­cijas, kurās spriegumu var regulēt zem slodzes.

|  |
| --- |
| 1.13. att. Energosistēmas shēma. |

**1.7. ELEKTRISKO TĪKLU VEIDI UN TO PIELIETOŠANA**

Elektrisko tīklu klasifikācija

Elektriskos tīklus iedala**:**

*1) pēc funkcionālās nozīmes*

* maģistrālie (220-330; 500; 750 kV );
* pārvades no el. stac. uz slodžu centriem;
* sadales tīkli – vidējā sprieguma līdz patērētāju TP.

*2) pēc sprieguma*

* superaugstsprieguma ≥ 500 kV ;
* augstsprieguma 110 ÷330 kV;
* vidējā sprieguma 3 ÷ 35 kV;
* zemsprieguma 0,23 ÷1,0 kV.

*3) pēc strāvas rakstura*

* līdzstrāvas;
* maiņstrāvas.

*4) pēc teritoriālā iedalījuma*

* tālvades starp sistēmām: *l* ≤ 250 – 300 km;
* rajona pazīmes  *l* ≤ 250 km;
* vietējie tīkli *l* ≤ 50 km ÷ 30 km;
* zemsprieguma tīkli *l* ≤ 2 km.

**Pārvades zelta likums: 1 kV ≤ 1 km**, piemēram, *U* = 20 kV optimāli *l* ≤ 20 km

*5) konstruktīvi*

* gaisvadu ar neizolētiem vadiem;
* gaisvadu ar izolētiem vadiem – AMKA, PAS – SAX, SIP u. c.

*6) no patērētāju rakstura*

* komunālie (pilsētu, ciematu) tīkli;
* rūpniecības, uzņēmumu tīkli – liels blīvums, kabeļi;
* lauksaimniecības tīkli – nelielas jaudas, garas līnijas.

Atkarībā no elektriskā tīkla nozīmes patērētāju apgādē ar elektroenerģiju tos iedala šādi:

a) vietējie elektriskie tīkli (lauksaimniecības, komunālie, fabriku-rūpnīcu) ar spriegumu līdz 35 kV (ieskaitot). Tie aptver nelielus rajonus — darbības rādiuss nepārsniedz 15 ... 20 km;

b) rajonu elektriskie tīkli, kuri aptver lielus rajonus un saista energosistēmas elektrostacijas. Tie ir tīkli, kuri apkalpo lielāku rajonu (reģionu), parasti ar spriegumu 110 kV vai 330 kV. Latvijā šogad ir aptuveni 1,3 tūkstoši km 330 kV un 4 tūkstoši km 110 kV līniju. Tīklu spriegums ir 110 kV un augstāks.

Energosistēmas rajona tīkla un vietējā elektriskā tīkla vienkāršota elektriskā shēma parādīta 1.14. attēlā. Elektro­enerģiju no HES un TEC rajona tīklam pievada paaug­stinošie transformatori, rajona tīkls ir saistīts ar energo­sistēmu. Rajonu tīklus izveido slēgtus un tiem pieslēdz apakšstacijas, kuras baro vietējos tīklus. No barošanas centra (BC) elektroenerģiju pievada sadales punktam (SP) vai pazeminošām transformatoru apakšstacijām. Sa­dales punkts elektroenerģiju sadala, nemainot spriegumu. Transformatoru apakšstacija spriegumu transformē līdz patērētāju nominālajam spriegumam.

Līniju *L*-l, kas nesadala elektroenerģiju, sauc par *baro­jošo līniju,* bet līniju *L*-2, kas pievada elektroenerģiju vai­rākām transformatoru apakšstacijām, sauc par *sadales līniju.*

|  |
| --- |
| 1.14. att. Energosistēmas rajona elektrisko tīklu un vietējo elektrisko tīklu shēma. |

Vietējos elektriskos tīklus izveido *vaļējus* un *slēgtus.*

Vaļējos tīklus iedala *maģistrālos* un *radiālos tiklos.* No maģistrālās līnijas atzarojas pievadi uz atsevišķām patē­rētāju transformatoru apakšstacijām. Tātad sadales līniju *L*-2 var uzskatīt arī par maģistrālo līniju. Ja tīkls izvei­dots no vairākām maģistrālām līnijām, to sauc par *ma­ģistrālu vaļēju tīklu.* Ja tīkla katra līnija baro tikai vienu slodzi, tad tādu tīklu sauc par *radiālu vaļēju tiklu,* bet līnijas — par *radiālām līnijām.* Barojošo līniju *L*-l var uzskatīt arī par radiālu līniju. 330 kV un augstāka sprie­guma lielas caurlaides spējas elektropārvades līnijas, kas saista atsevišķas elektriskās sistēmas, sauc par *starpsis­tēmu saitēm.*

**1.8. ELEKTROAPGĀDES TĪKLU SPRIEGUMI**

Elektroapgādes sistēmas veido dažāda sprieguma tīkli vai līnijas. Arī elektrouzņēmēju un enerģijas avotu spriegumi mēdz būt dažādi. Visiem izstrādājumiem, kam ir spailes to elektriskai savienošanai ar citiem izstrādājumiem, nominālie spriegumi ir standartizēti.

Plaši lietojamu izstrādājumu nominālie līdzspriegumi un maiņspriegumi līdz 1000 V uzrādīti 1.5. tabulā, bet nominālie trīsfāžu maiņspriegumi virs 1000 V – 1.6. tabulā.

Trīsfāžu maiņspriegumam par nominālo uzskata starpfāžu spriegumu.

Darba sprieguma izmaiņas diapazonu augsta sprieguma tīklos nosaka izolāci­jas līmenis, bet zema sprieguma tīklos — elektrouzņēmēju pieļaujamās sprieguma novirzes. Lai šo diapazonu izmantotu pilnā mērā, ģeneratoru un transformatoru se­kundāro tinumu nominālie spriegumi ir par 5% lielāki nekā atbilstošie tīklu nomi­nālie spriegumi, bet 35, 110 (150) un 220 kV sprieguma tīklos, pie kuriem pa­tērētājus pieslēdz tikai izņēmuma gadījumos un kur atmaksājas nodrošināt par 10% lielāku izolācijas rezervi, transformatoru sekundārie spriegumi tīklu nominālos pārsniedz pat par 10%.

1.5. tabula

**Nominālie standarta spriegumi līdz 1000 V**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Maiņspriegums, V | | | | Līdzspriegums, V | | |
| tīkliem un  elektrouzņēmējiem | | avotiem un  pārveidotājiem | | tīkliem un elektro­uzņēmējiem | | avotiem un  pārveido­tājiem |
| trīsfāžu | vienfāzes | trīsfāžu | vienfāzes |  |  | |
| 40 | 40 | 42 | 42 | 48 | | 48 |
| 60 | 60 | 62 | 62 | 60 | | 62 |
|  | 110 |  | 115 | 110 | | 115 |
| 220 | 220 | 230 | 230 | 220 | | 230 |
| 380 | 380 | 400 |  | 440 | | 460 |
| 660 | 660 | 690 |  |  | |  |

Transformatoru primārajiem un sekundārajiem tinumiem standartā noteikti divi nominālā sprieguma līmeņi. Atbilstošo aiļu kreisajā pusē uzrādīts galvenais mi­nimālais spriegums, kuru izmanto biežāk, bet labajā pusē — transformatoru ti­numu papildu nominālais spriegums. Primārā tinuma galvenais nominālais sprie­gums sakrīt ar tīklam noteikto vērtību, bet par 5% augstākais papildu spriegums pa­redzēts transformatoriem, kas tieši pieslēgti ģeneratoru izvadiem vai ģeneratora sprieguma kopnēm (6,3, 10,5 un 21 kV) vai arī transformatoriem ar automātisko sprieguma regulatoru.

Mūsdienu elektriskajos tīklos ar noteiktu nostabilizētu nominālo spriegumu sistēmu (piem., Latvijā 330/110/20/10/0,4 kV sistēma, NVS valstīs pārsvarā - 1150/500/220/110/ 35/10/0,4 kV sistēma) nominālais spriegums projektējamam objektam vairumā gadījumos arī noteikts viennozīmīgi. Tomēr praksē var būt gadījumi, kad jāsaskaras ar projektiem, kuros nominālais spriegums vai nominālo spriegumu sistēma ir jāizvēlas. Šādi projekti ir neapgūto teritoriju elektrificēšana, jaunu relatīvi lielas jaudas elektrostaciju vai patērētāju pieslēgšana tīklam, pāreja uz lielāku nominālo spriegumu, slodzei palielinoties esošajā tīklā, utt.

1.6. tabula

**Nominālie standarta maiņspriegumi virs 1000 V, kV**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Tīkliem un elektrouzņēmējiem | Ģeneratoriem un sinhronajiem kompensatoriem | Transformatoriem un  autotransformatoriem | | Elektro­ietaises  maksimālais  darba spriegums |
| primārā tinuma spriegums | sekundāra tinuma  spriegums |
| (3) | (3,15) | (3)/ — un (3,15)/ — | (3,15) un (3,3)/ — | (3,6) |
| 6 | 6,3 | 6 un 6,3 | 6,3 un 6,6 | 7,2 |
| 10 | 10,5 | 10 un 10,5 | 10,5 un 11 | 12 |
| 20 | 21,0 | 20 un —/21 | — un 22 | 24 |
| 35 | — | 35 un —/36,75 | 38,5/— un —/38,5 | 40,5 |
| 110 | — | —/110 un —/115 | 121/115 un —/121 | 126 |
| (150) | — | — —/(158) | (165)/ (158) — | (172) |
| 220 | — | —/220 un —/230 | 212/230 un —/242 | 252 |
| 330 | — | 330 — | 347/330 — | 363 |
| 500 | — | 500 — | 525/— — | 525 |
| 750 | — | 750 — | 787/— — | 787 |
| 1150 | — | —/1150 — | — — | 1200 |

*Piezīmes.* 1. Pirms slīpas svītras dots nominālais spriegums transformatoriem un autotransformatoriem, kuriem nav slodzes režīmā strādājoša automātiskā sprieguma regulatora, aiz svītras — ja tāds ir. Ja abos gadījumos nominālie spriegumi sakrīt, tad uzrādīts tikai viens skaitlis.

2. Iekavās ietvertās spriegumu vērtības nerekomendē no jauna projektējamām ietaisēm.

Tā, piemēram, pilsētu vidējā sprieguma tīkli saskaņā ar EIN, jāprojektē kā trīsfāžu tīkli ar *izolētu* vai *kompensētu* neitrāli un nominālo spriegumu, kurš nepārsniedz 20 kV. Pilsētu zemsprieguma sadales tīkli, vadoties no EIN, jāprojektē kā trīs fāžu četrvadu tīkli ar cieši *zemētu neitrāli* un380/220 V nominālo spriegumu.

Rūpniecības uzņēmumu sadales tīklus projektē ar 380, 660 V vai 6, 10 un 20 kV nominālo spriegumu. Nominālā sprieguma izvēli šajos tīklos nosaka šiem tīkliem pieslēgto atsevišķo patērētāju, vienības jauda un to izvietojuma laukums. Sprieguma izvēles kritērijs rūpniecības uzņēmumu tīklos atkal ir variantu tehniski ekonomiskais salīdzinājums.

Lielu pilsētu un lielu rūpniecības objektu elektroapgāde notiek ar spriegumu no 20 līdz 330 kV. Bieži lieto tā sauktos dziļos ievadus, t.i., augsta sprieguma apakšstaciju izbūve tuvu slodzes centriem ar 110— 330 kV primāro spriegumu.

Risinot nominālā sprieguma izvēles jautājumus, var izmantot arī vispārinātas aptuvenas metodes. Parasti tās dod iespēju samazināt salīdzināmo variantu skaitu. Ir arī gadījumi, kad tās ir pietiekamas, lai pieņemtu galīgo lēmumu.

Līniju nominālo spriegumu, ja zināma pārvadāmā jauda *P* un līnijas garums *lg*, var noteikt pēc Stilla formulas:

 (1.14)

Šī formula piemērojama līnijām, kuru garums nepārsniedz 250 km un pārvadāmā jauda nav lielāka par 60 MW. Lielu jaudu pārvadīšanai līdz 1000 km lieto A. Zaļeska formulu:

 (1.15)

kur *lg* - līnijas garums, km; *P* - pārvadāma jauda, MW.

Elektropārvades līniju (35...750 kV) ekonomiski lietderīgo nominālo spriegumu orientējoši var noteikt pēc šādas empīriskas formulas,

 (1.16)

Aprēķināto spriegumu noapaļo līdz tuvākajam nominālajam standartspriegumam.

***Nominālo strāvu skala***. Strāvas vērtībām no 1A līdz 10 000 A ir šāda nominālo strāvu skala (A): 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3200; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000.

Nemainīgās slodzes režīmā figurē darba strāva *Id*. Mainīgas slodzes režīmā — vidējā strāva (aprēķina strāva) *Ia*. Jābūt *IN* > *Id* vai *IN* > *Ia*.

Zemsprieguma tīkli elektroenerģiju saņem no sadales transfor­matoru apakšstacijām. Rūpniecības uzņēmumos tās parasti atrodas cehos, un tās sauc par ceha transformatoru apakšstacijām. Sadales apakšstacijas un augstsprieguma elektrouzņēmēji elektroenerģiju saņem no barošanas centriem jeb paaugstināta sprieguma apakš­stacijām. Raksturīga barošanas centru īpatnība ir tā, ka to trans­formatoriem uzstāda slodzes režīmā strādājošus automātiskos sprie­guma regulatorus. Elektroenerģijas sadali no barošanas centriem līdz augstsprieguma elektrouzņēmējiem un sadales apakšstaci­jām nodrošina sadales tikls. Ņemot vērā patērētāju īpatnības, elektrisko tīklu ievērojamo darbmūžu un arī agrāk lietotos sprie­gumus, sadales tīklus veido pēc vairākām spriegumu sistēmām. Galvenās no tām ir 110/20/0,4, 110/35/10/0,4 un 110/10/0,4 kV sis­tēmas. 10 kV sprieguma vieta var būt lietots 6 kV, bet 0,4 kV sprie­guma vietā — 0,69 kV spriegums. Īpaši racionāla spriegumu sistēma 110/20/0,4 kV ir lauku rajonu un nelielu pilsētu elektroapgādē, kur nav augstsprieguma elektrouzņēmēju. Augot patērētāju slodzēm, 20 kV sprieguma sada­les tīklu vieglāk rekonstruēt nekā 10 kV sprieguma tīklu, un tā ierī­košanas izmaksas ir mazākas nekā 35 kV sprieguma tīklam. Lielu pilsētu un rūpniecības uzņēmumu elektroapgādē lieto spriegumu sis­tēmu 110/10/0,4 kV. Rūpniecības uzņēmumiem bez augstsprieguma elektrouzņēmējiem vai ar ierobežotu to skaitu un koncentrētu no­vietojumu bieži vien efektīva ir tieša transformācija 35/0,4 kV.

Pilsētu un rūpniecības uzņēmumu elektroapgādes sistēmās iz­manto divus samērā maz atšķirīgus spriegumus — 6 kV un 10 kV. Ja nav augstsprieguma elektrouzņēmēju, tad ieteicamāks ir 10 kV spriegums. Rūpniecības uzņēmumos, kur ir liels skaits augstsprie­guma dzinēju, izdevīgāks var būt 6 kV spriegums. Maiņsprieguma dzinējus, kā zināms, izgatavo 380/220 V, 660/380 V, 6 kV un 10 kV spriegumam, iepriekš izbūvētām iekārtām vēl izmanto arī 3 kV sprie­gumu. 6 kV sprieguma dzinējus izgatavo, sākot ar 200 kW, bet 10 kV sprieguma dzinējus, — ar 800 kW jaudu, lielākā 380/220 V sprieguma dzinēju jauda ir 350 kW. Savstarpēji salīdzinot elektrodzinējus, kurus var izgatavot ar dažādu spriegumu, lētāki un ar nedaudz augstāku lietderības koeficientu ir zemāka sprieguma tā­das pašas jaudas dzinēji. Šo iemeslu dēļ dzinējiem kopīgajā jaudu diapazonā ieteicamāks ir 6 kV spriegums pretstatā 10 kV spriegu­mam un 660 V spriegums pretstatā 6 kV spriegumam. Ietverot valsts standartā 660 V spriegumu, dzinēju barošanai ir izveidoju­šās divas spriegumu sistēmas: 380/220 V un 6 kV; 660 V un 10 kV jo 660/380 V sprieguma dzinēju jaudu diapazons ir 0,6 ... 630 kW un tas pārklājas ar 10 kV sprieguma dzinēju jaudu diapazonu.

**1.9. ELEKTRISKO TĪKLU SHĒMAS IZVĒLE**

Elektrisko tīklu shēmas izvēle notiek vienlaicīgi ar nominālā sprieguma izvēli un ietver sevī apakšstaciju vietas noteikšanu, saites līniju starp apakšstacijām izvēli (konfigurācijas varianti), apakšstaciju principiālo shēmu iepriekšēju izstrādi, kā arī transformatora skaita un jaudas noteikšanu apakšstacijās.

Elektrisko tīklu shēmām jāapmierina šādas prasības: elektroapgādes drošums, ekspluatācijas darba drošība, apkalpošanas ērtums, enerģijas pārvades ekonomiskums, tālākas attīstības perspektīvas, nepieciešamais enerģijas kvalitātes nodrošinājums.

Elektrisko tīklu shēmas var iedalīt divās lielās pamatgrupās: vaļējo (radiālo) un slēgto tīklu shēmās. Otra svarīga tīkla shēmu pazīme, pēc kuras tās klasificē, ir nerezervētās un rezervētās shēmas. Nerezervētās vaļējo tīklu shēmas veido ar vienķēdes līnijām, bet rezervētās vaļējo tīklu shēmas - ar divķēžu līnijām. Vaļējo un slēgto tīklu shēmu galvenie tipi parādīti 1.15. attēlā.

|  |
| --- |
|  |

1.15. att. Vaļējo un slēgto tikla shēmu galvenie tipi

Vaļējās nerezervētās tīkla shēmas (1.15. att. *a* un *c*) ir visvienkāršākās un arī lētākās, bet raksturojas ar vismazāko elektroapgādes drošuma pakāpi. Ieguvušas plašu pielietojumu projektējamā tīkla attīstības sākumstadijās un gadījumos, kad tīklam pievienoti maznozīmīgi elektropatērētāji. Vaļējās nerezervētās shēmas iedalāmas maģistrālajās un radiālajās shēmās.

Vaļējās rezervētās tīkla shēmas (1.15. att. *b* un *d*) sakarā ar sadales tīkla līniju dublēšanu nodrošina patērētāju barošanas rezervēšanu. Šo tīklu shēmas lieto barojošajos, kā arī rūpniecības uzņēmumu un pilsētu elektrotīklos. Shēmas raksturojas ar abu līniju vienmērīgu noslodzi, kas atbilst jaudas zudumu minimumam. Vienkāršas apakšstaciju pieslēgšanas shēmas.

Vaļējās rezervētās shēmas iedalāmas maģistrālajās un radiālajās shēmās.

Nodrošinot patērētāju elektroapgādi no viena barošanas centra, pielietojumu, gūst arī vienķēdes slēgtā cilpveida tīkla shēma (1.15. att. e) un divķēžu cilpveida tīkla shēma (1.15, att. f). Šajos tīklos katrs EP saņem barošanu no divām pusēm. Atslēdzoties vienam vienķēdes cilpveida tīkla barošanas zaram, patērētāji saņem elektrisko enerģiju pa otra tīkla barošanas zara. Parasti šie tīkli strādā vaļējā radiālā režīmā ar dalījuma vietu jaudu sateces punktā.

Plašu pielietojumu tīklu projektēšanas praksē ir ieguvusi vienķēdes shēma ar divpusēju barošanu (1.15. att. g) kura, tāpat kā cilpveida tīkls, strādā vaļējā radiālā režīmā ar dalījuma vietu jaudu sateces punktā. Liela elektrisko slodžu blīvuma gadījumā lieto divķēžu shēmu ar divpusēju barošanu (1.15. att. h). Abas iepriekšminētās vienkāršo slēgto tīklu shēmas nodrošina augstu elektroapgādes drošuma pakāpi.

Mezglu tipa tīkla shēmai, (1.15. att. i) ir trīs neatkarīgi barošanas centri un ļoti augsta elektroapgādes drošuma pakāpe. Galvenie trūkumi šai shēmai ir šādi: augstas izmaksas un sarežģīta mezglu apakšstacijas pievienošanas shēma.

Daudzkontūru tīkla shēma (1.15. att. k) veidojas tīkla attīstības gaitā un raksturojas ar nevienmērīgu BC izvietojumu un sarežģītām apakšstaciju pievienošanas shēmām.

**1.10. ELEKTROENERĢIJAS IZMANTOŠANAS NOTEIKUMI**

Lai patērētājs saņemtu elektroenerģiju, tam ar energosistēmu jānoslēdz divpusējs līgums. Patērētājus, kas enerģiju saņem uz līguma pamata, sauc par abonentiem vai apakšabonentiem. Apakšabonenti saņem elektroenerģiju pa abonentu tīk­liem. Elektroenerģijas un siltumenerģijas izmantošanas noteikumi nosaka jaunu patērētāju jaudu uzstādīšanas kārtību abonentu elek­troietaisēs, to pielaišanu ekspluatācijā, elektrisko tīklu bilances pie­derības robežas, abonentu un apakšabonentu elektroiekārtu eks­pluatācijas kontroli un uzraudzību, norēķinu kārtību par saņemto elektroenerģiju atbilstoši pastāvošiem cenrāžiem, energosistēmas elektropiegādes uzņēmumu un patērētāju pienākumus un atbildību. Šie noteikumi izšķir vairākas patērētāju grupas, galvenokārt pēc to pie­derības pie ražojošās vai neražojošās sfēras: rūpniecības un. tiem pielīdzinātus uzņēmumus, lauksaimniecības ražojošās sfēras patē­rētājus, neražojošās sfēras abonentus (valsts iestādes un organizā­cijas, dzīvokļi un citi sadzīves patērētāji), kā arī organizācijām pie­derošo ciematu patērētājus un, visbeidzot, vairumpatērētājus ar jaukta rakstura (ražojošās un neražojošās sfēras) apakšabonentiem. Šīm grupām ir noteikti atšķirīgi elektroenerģijas tarifi, ir arī atšķi­rīgas līgumsaistības ar energosistēmu.

Norēķinos par elektroenerģijas izmantošanu lieto vienlikmes un divlikmju tarifus. Vienlikmes tarifs paredz tikai maksu par izlie­toto elektroenerģiju. Dažādiem patērētājiem tarifi ir atšķirīgi, un patērētāji sīkāk dalās vairākās tarifikācijas grupās. Divlikmju ta­rifiem ir pamatlikme un papildlikme. Pamatlikme ir samaksa par līgumā pieteikto slodzi energosistēmas maksimumstundās, bet pa­pildlikme — par saņemto elektroenerģiju. Slodzi energosistēmas maksimumstundās fiksē līgumā katram gada ceturksnim atsevišķi, uzrādot arī sistēmas maksimumlaiku pēc pulksteņa. Patērētāja lie­lāko slodzi maksimumstundās mēra ar elektroenerģijas skaitītāju, kura iebūvēts maksimālās 30 minūšu slodzes fiksators. Ja patērētājs elektroenerģiju saņem pa vairākām līnijām, tad lieto ar telemērīšanas iekārtu apgādātu summatoru kopējā maksimuma noteik­šanai. Apmaksas noteikšanai paredz īpašus norēķina skaitītājus.

Tarifiem var būt atlaides un piemaksas. Sevišķi nozīmīgas ta­rifa izmaiņas paredzētas atkarībā no patērētāja patērētās reaktī­vās jaudas lieluma.

Divlikmju tarifi ir noteikti rūpniecības un tiem pielīdzinātiem uzņēmumiem, ja to pievienotā jauda pārsniedz 750 kVA. Jāpiebilst, ka divlikmju tarifs attiecas uz to patērētās elektroenerģijas daļu, ko izlieto tehnoloģiskām un tieši ar ražošanu saistītām palīgvajadzībām, piemēram, ražošanas un pārvaldes telpu apgaismošanai. Patērētāji, kuru pievienotā jauda nepārsniedz 750 kVA, norēķinās pēc vienlikmes tarifiem. Atvieglināts tarifs ir noteikts lauksaimnie­cības ražojošās sfēras patērētājiem.

Pievienotā jauda var atšķirties no uzstādītās. Elektroenerģijas un siltumenerģijas izmantošanas noteiku­mos par uzstādīto jaudu vienkāršības labad uzskata summāro augstsprieguma (> 1000 V) dzinēju un to transformatoru jaudu, kuri dod darba spriegumu patērētāju pieslēgšanai. Pievienotā jauda atšķiras par to patērētāju jaudu, kuri norēķinās pēc vienlikmes ta­rifiem vai arī tiek izmantoti slodzes grafika regulēšanai.

Elektroenerģijas izmantošanas līgumā norāda spriegumu un tā standartizētos kvalitātes parametrus pieslēguma punktā, patērētāja uzrādīto jaudu, norēķina skaitītāju uzstādīšanas vietu, tarifus, sa­gaidāmo elektroenerģijas patēriņu gada laikā un tās izmaksas, pa­tērētāju plānoto atslēgumu termiņus un ilgumu. Patērētājiem ar divlikmju tarifu un citiem rūpniecības uzņēmumiem līgumam pie­vieno pielikumu par patērētāju jaudas koeficientam paredzēto ta­rifa atlaižu un piemaksu piemērošanos nosacījumiem. Visos gadī­jumos kopā ar līgumu sastāda aktu par tīkla bilances piederību. Lī­gumā var tikt atspoguļotas arī citas patērētāju elektroapgādes īpat­nības. Līgumu sastāda divos eksemplāros, no kuriem viens atrodas pie abonenta, bet otrs — energosistēmas uzņēmumā.

Augstsprieguma (>1000 V) elektroietaisēs piederības robeža tiek noteikta uz slēgto sadales iekārtu ievada caurvadizolatora ārē­jās spailes vai brīvgaisa sadales iekārtas portāla horizontālās izo­latoru virtenes nesējspailes, bet cita konstruktīvā izveidojuma ga­dījumos — uz barošanas vai aizejošo kabeļu vai gaisvadu līniju ievada spailēm. Minētos kontaktsavienojumus ekspluatē organizā­cija, kurai pieder apakšstacija. Augstsprieguma līnijām ar nozaro­jumiem, kas baro dažādus abonentus, piederības robeža ir galvenās līnijas nozarbalsts. Zemsprieguma (<1000 V) elektroietaisēs bilan­ces piederības robežu nosaka uz ēkas gaisvadu ievada pirmajiem izolatoriem vai kabeļu ievada spailēm.

Norēķina skaitītājus uzstāda piederības robežas tuvumā. Ja tie uzstādīti citās vietās, tad elektroenerģijas zudumus no piederības robežas līdz skaitītājam apmaksā tā organizācija, kuras tīklos at­rodas skaitītājs. Zudumus nosaka ar aprēķinu un fiksē līgumā. Vie­nīgi sadzīves vajadzībām patērētā elektroenerģija tiek apmaksāta pēc skaitītāju rādījuma neatkarīgi no tā uzstādīšanas vietas. Patē­rētajiem, izņemot dzīvokļu sektoru, elektroenerģiju piegādā saskaņā ar noteikta kārtībā apstiprinātiem mēnešu, ceturkšņu un gada plāniem. Bez tam jaudas deficīta gadījumā var noteikt patērētajiem jaudas limitus.

Abonentiem, kuri ir noslēguši līgumus par elektroenerģijas iz­mantošanu, ir atļauts (ar atsevišķiem izņēmumiem) pieslēgt zem­sprieguma elektroiekārtas līgumā noteiktās jaudas robežās bez ener­gosistēmas papildu atļaujas. Lai uzstādītu jaunus transformatorus un augstsprieguma dzinējus vai palielinātu to jaudu, kā arī izman­tošanai atļauto zemsprieguma elektroiekārtu jaudu, nepieciešama energosistēmas atļauja. Vispirms energosistēma izdod tehniskos no­teikumus (TN) jaunu jaudu uzstādīšanai.

Izšķir sākotnējos un pieslēguma TN. Sākotnējos TN elektropiegādes organizācija izdod pirmsprojekta pētījumu veikšanai.

Pieslēguma TN ir plašāki nekā sākotnējie TN. Pieslēguma teh­niskajos noteikumos dod īsslēguma strāvas pieslēguma punktā, apakšabonentu sarakstu, rekomendācijas par tipveida projektu iz­mantošanu, kā arī izvirza virkni prasību (prasības releju aizsar­dzībai, automātikai, sakariem, izolācijai, pārsprieguma aizsardzībai, reaktīvās jaudas kompensācijai, elektroenerģijas uzskaitei un tās kvalitātes kontrolei, diennakts slodžu grafika regulēšanai, projekta nodaļai par elektroiekārtu ekspluatāciju u. c).

Pēc jaunu elektroietaišu montāžas pabeigšanas patērētājs kopā ar montāžas organizāciju to pārbauda un sastāda pieņemšanas aktu.

Visas abonentu un apakšabonentu elektroiekārtas ir pakļautas valsts kontrolei un uzraudzībai. To veic enerģijas sada­les un uzraudzības uzņēmums. Ja abonents pārkāpj esošos notei­kumus, tad energosistēma var lietot dažādas sankci­jas — dot priekšrakstus par trūkumu novēršanu, uzlikt soda naudu, pārrēķināt samaksu par elektroenerģiju, ja pārkāpti uzskaites no­teikumi, ieturēt soda naudu, ja savlaicīgi nav apmaksāti rēķini par izmantoto elektroenerģiju, daļēji vai pilnīgi atslēgt patērētāja elektroiekārtas.

Energosistēmai saskaņā ar noteikumiem paredzēta materiālā atbildība par elek­troenerģijas piegādes pārtraukumiem un nekvalitatīvas elektroener­ģijas piegādi.

**1.11. JAUDAS UN ENERĞIJAS ZUDUMI ELEKTROAPGĀDES**

**SISTĒMAS ELEMENTOS**

Daļa no elektriskas enerģijas, ko piegādā patērētājam, tiek izlietota pašas elektroapgādes sistēmas pretestību pārvarēšanai. Šī elektriskā enerģijas daļa elektroapgādes elementos pārvēršas siltuma enerģijā un praktiski nav izmantojama. Tātad elektro­apgādes sistēmā rodas elektroenerģijas un jaudas zudumi.

1. Jaudas zudumus līnijā aprēķina pēc formulas

 (1.17)

kur *Pm* - maksimālā aktīvā jauda, kW;

*Qm* - maksimālā reaktīvā jauda, kVAr;

*UN* - līnijas spriegums, kV;

*RL* - līnijas aktīvā pretestība, Ω.

Līdzīgā veidā var aprēķināt arī reaktīvās jaudas zudumus

 (1.18)

kur *XL* - līnijas induktīvā pretestība, Ω.

Līnijas aktīvo pretestību aprēķina pēc formulas

*RL = R0 ∙ℓ,*  (1.19)

kur *R*0 - līnijas vadu īpatnējā aktīvā pretestība, Ω/km;

*ℓ* - līnijas garums, km.

Līdzīgā veidā līnijas induktīvā pretestība

*XL = X0 ∙ℓ* , (1.20)

kur *X*0 - līnijas īpatnējā induktīvā pretestība, Ω/km.

*R*0 un *X*0 vērtības var atrast literatūrā vai rokasgrāmatu tabulās.

2. Aktīvas un reaktīvas enerģijas zudumus tīklos aprēķina pēc formulas

Δ*WL* = Δ*PL·τ* ; (1.21)

Δ*VL* = Δ*QL·τ.* (1.22)

Aktīvas enerģijas zudumus tīklos aprēķina arī pēc formulas

 (1.23)

kur *Im* - maksimālā strāva līnijā (A);

*τ* - zudumu laiks (h) .

Zudumu laiku var atrast, ja zināms slodzes grafiks. Ja slodzes grafiks nav zināms, uzdevumā jāuzdod maksimuma izmantošanas laiks *T* un vidējais jaudas koeficients cos*φ*. No līknēm *τ = f* (*T*) (1.16. att.) atrod zudumu laiku *τ* (*T* - maksimālās slodzes izmantošanas laiks gadā, h).

*T* ir atkarīga no slodzes rakstura un maiņu skaita. Ja uzņēmums strādā vienā maiņā, *T* = =1800-2000 h, divās maiņās 3500-4500 h, trijās maiņās - 5000-7000 h, apgaismošanas slodzei *T* = 1500-2000 h (1.7. tab.).

*T* var aprēķināt, ja zināms enerģijas patēriņš un maksimālā slodze *Pm*:

 (1.24)

kur *Wg* - gada enerģijas patēriņš (kW·h).

Ja dots slodzes grafiks, maksimālās slodzes izmantošanas laiks

 (1.25)

kur *P* - atsevišķas slodzes lielums;

Δ*t* - atsevišķās slodzes ilgums.

|  |
| --- |
|  |

1.16. att. Zudumu laika noteikšanas līknes

Ja zināms aktīvās un reaktīvās slodzes grafiks, zudumu lai­ku var aprēķināt sekojoši:

 (1.26)

kur *S* - atsevišķas pilnas slodzes lielums (kVA);

Δ*t* - tās pašas slodzes ilgums (h);

*Sm* - maksimālā pilnā slodze (kVA).

**1.1. piemērs.** Noteikt aktīvas un reaktīvas jaudas zudumus, ka arī elektroenerģijas zudumus gadā, kabeļu līnijai ar spriegumu 10 kV un garumu 2 km. Kabelis ААШвУ-10 (3x150). Līnijas aprēķina slodze *Sa = P + jQ* = 3 + *j*1,3 MVA, maksimālas slodzes izmantošanas laiks *T* = 2900 h.

Atrisinājums.

Pēc izteiksmēm (1.19) un (1.20) aprēķinam līnijas aktīvo un reaktīvo pretestību. Lielumi *R*0 un *X*0 pieņemam atbilstoši P.3.11. tabulai.

*RL = R0 ∙ℓ =* 0,206· 2 = 0,412 Ω;

*XL = X0 ∙ℓ =* 0,079·2 = 0,158 Ω.

Aktīvas jaudas zudumi līnijā (1.21):



Reaktīvas jaudas zudumi līnijā (1.22):



No 1.16. attēla ja T = 2900 h un cosφ = 1, tad τ = 1500 h.

Aktīvas un reaktīvas jaudas zudumi tīklā:

Δ*WL* = Δ*PL·τ* = 44,04·1500 = 66060 kW·h = 66,06 MW·h;

Δ*VL* = Δ*QL·τ* *=* 16,89 · 1500 = 25335 kVAr·h = 25,3 MVAr·h.

3. Elektroenerģijas zudumi transformatoros. Jaudas zudumus transformatoros iedala šādi:

1. īsslēguma zudumi jeb zudumi varā Δ*Pk*, kas atkarīgi no slodzes strāvas;
2. tukšgaitas zudumi jeb zudumi tēraudā Δ*P*0, kas atkarīgi tikai no sprieguma.

Transformatora īsslēguma zudumus aprēķina pēc formulas

Δ*Pk* = 3∙*I*2∙*RT*, (1.27)

kur *I*  – slodzes strāva;

*RT* – transformatora vienas fāzes aktīvā pretestība.

Ja slodzes strāva vienāda ar nominālo, zudumi arī ir nominālie:

Δ*PkN* = 3*I*2*N·RT.* (1.28)

Tātad īsslēguma zudumi ir tieši proporcionāli strāvas kvadrātam:

 (1.29)

No vienādojuma (1.29)

 (1.30)

kur *S* – transformatora faktiskā slodze;

*SN* – transformatora nominālā jauda.

Katram transformatoram Δ*PkN* 750C temperatūrā doti tehniskajos datos. Zinot transformatora faktisko slodzi *S* un transformatora nominālo jaudu *SN*, var aprēķināt īsslēguma zudumus.

Tukšgaitas zudumi Δ*P*0 ir atkarīgi tikai no sprieguma, un tos pieņem konstantus, jo tīklā spriegums mainās nelielās robežās. Tukšgaitas zudumus arī uzrāda transformatora tehniskajos datos.

Jaudas zudumi tinumos ir atkarīgi no transformatora noslodzes. Kopējos aktīvos jaudas zudumus aprēķina pēc formulas

 (1.31)

kur *SN* - transformatora nominālā jauda (kVA);

Δ*PK* - transformatora īsslēguma zudumi (kW);

Δ*P*0 - transformatora tukšgaitas zudumi (kW).

Reaktīvos jaudas zudumus transformatoros aprēķina aptuveni pēc formulas

 (1.32)

kur Δ*UK* - transformatora īsslēguma spriegums (%);

Δ*Q*0 - transformatora tukšgaitas reaktīvie zudumi (kVAr).

Transformatora tukšgaitas reaktīvos zudumus aprēķina pēc formulas

 (1.33)

kur *I*0 - transformatora tukšgaitas strāva (%);

Δ*UK* un *I*0 vērtības atrodamas transformatora tehniskajā pasē.

Nelielas jaudas transformatoriem, ja nepieciešama lielāka aprēķina precizitāte, Δ*UK* vietā var ņemt Δ*Ur*.

 (1.34)

kur Δ*Ua* - īsslēguma sprieguma aktīvā komponente (%). To aprēķina, ja zināma transformatora aktīvā pretestība *RT*.

 (1.35)

kur *IN* - nominālā strāva (A);

*UN* - nominālais spriegums, bet

 (1.36)

kur Δ*PK* - transformatora īsslēguma zudumi (W).

4. Aktīvas enerģijas zudumus transformatorā aprēķina pēc formulas

 (1.37)

vai arī

 (1.38)

kur  - transformatora maksimālā slodze.

*t* - transformatora darba stundu skaits gadā (h).

Reaktīvas enerģijas zudumus transformatorā aprēķina pēc formulas

 (1.39)

Ja uz kopējo slodzi darbojas paralēli *NT* transformatori ar nominālo jaudu *SN*, tad summārie aktīvie un reaktīvie jaudas zudumi sastāda:

 (1.40)

 (1.41)

Līdzīgi aprēķina arī aktīvas un reaktīvas enerģijas zudumus paralēli slēgtos transformatoros.

**1.2. piemērs**. Mašīnbūves rūpnīcas barošana notiek no tīkla ar spriegumu 110 kV caur diviem paralēli saslēgtajiem transformatoriem ТДН-16 000/110. Transformatoru tehniskie dati: *SN* = 16 MVA, Δ*P*0 = 18 kW; Δ*Pk* = 85 kW; *I*0 = 0,7%; Δ*Uk* = 10,5%. Rūpnīcas aprēķina slodze *Pa* = 20 MW, jaudas koeficients cos*φ* = 0,9, maksimālas slodzes izmantošanas laiks *T* = 5000 h.

Noteikt aktīvas un reaktīvas jaudas un elektroenerģijas zudumus transformatoros gadā (*Tg* = 8760 h).

Atrisinājums.

Aprēķinam rūpnīcas pilno patērēto jaudu pēc formulas



Aprēķinam aktīvas un reaktīvas jaudas zudumus diviem (*NT* = 2) paralēli strādājošiem transformatoriem pēc formulām (1.40) un (1.41):





Zudumu laiks no 1.16. attēla, ja maksimuma izmantošanas laiks *T* = 5000 h cos*φ* = 0,9, ir *τ* = 3400 h.

Aktīvas enerģijas zudumi transformatoros gada:  


Aktīvas enerģijas zudumus kondensatoru iekārtas, kurus izmanto reaktīvas enerģijas kompensēšanai, var aprēķināt pēc formulas

Δ*Pk = pīp·Qk*, (1.42)

kur *pīp* – aktīvas jaudas īpatnēji zudumi kondensatoru baterijas (baterijām līdz 1 kV *pīp* = 0,004 kW/kVAr, virs 1 kV – *pīp* = 0,002 kW/kVAr),

*Qk* – kondensatoru baterijas faktiskā jauda.

Aktīvas elektroenerģijas zudumus var noteikt pēc attiecības

Δ*Wk* = Δ*Pk·Tdk,* (1.43)

kur *Tdk* – darba stundu skaits noteikta periodā.

**1.3. piemērs.** Aprēķināt aktīvas elektroenerģijas zudumus kondensatoru baterijas ar spriegumu līdz 1 kV gada laikā uzņēmumam, kas strādā divas maiņas pa 8 stundām.

Kondensatoru baterijas summāra jauda 2100 kVAr

Atrisinājums.

Aktīvas jaudas zudumus kondensatoru baterijas varam aprēķināt pēc formulas (1.42):

Δ*Pk = pīp·Qk* = 0,004·2100 = 8,4 kW.

Kondensatoru baterijas darba laiks, ka redzams no 1.7. tabulas, sastāda 4500 stundas.

Tātad aktīvas elektroenerģijas zudumi (1.43) kondensatoru baterijas gada laikā:

Δ*Wk* = Δ*Pk·Tdk* = 8,4·4500 = 37800 kW·h.

1.7. tabula

**Uzņēmuma darba laiks**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Darba maiņas ilgums, h | Darba stundas skaits gadā atkarība no maiņu skaitu | | |
| 1 | 2 | 3 |
| 8 | 2250 | 4500 | 6400 |
| 7 | 2000 | 3950 | 5870 |

**1.12. SPRIEGUMA ZUDUMS UN SPRIEGUMA KRITUMS**

Katram vadam ir aktīvā un induktīvā pretestība. Strāvai plūstot cauri šīm pretestībām, tajās rodas sprieguma kritums. Tādēļ līnijas sākuma spriegums un beigu spriegums atšķiras (1.17. att.).

Par *sprieguma zudumu* sauc algebrisku starpību starp līnijas sākuma un beigu spriegumu:

Δ*U = U*1 - *U*2.

|  |
| --- |
| 1.17. att. |

Par *sprieguma kritumu* līnijā sauc ģeometrisko starpību starp līnijas sākuma un beigu spriegumu. Lielumu Δ*Uf* sauc par sprieguma krituma garenkomponenti, bet δUf - par šķērskomponenti. Rūpniecības uzņēmumos tīklos leņķis θ ir ļoti mazs, tāpēc ΔUf aptuveni ir vienāda ar sprieguma zudumu. Šo lielumu tad arī aprēķina un salīdzina ar normatīvajiem lielumiem.

Atbilstoši elektroietaišu izbūves standartiem rūpniecības uzņēmumu spēka patērētājiem sprieguma novirze no nomināla sprieguma nedrīksti pārsniegt - 5%, bet apgaismošanas ie­taisēm no -2,5 līdz + 5%.

Lauksaimniecības patērētājiem uz elektrodzinēju un to vadības aparatūras spailēm pieļauj sprieguma zudumu +10% līdz -7,5 %, bet pārējiem patērētājiem + 7,5 % līdz - 7,5 %. Pēcavāriju režī­mos pieļaujama papildus sprieguma samazināšanās par 5 %.

Lai aprēķinātu sprieguma zudumus, jāzina vadu aktīvā un induktīvā pretestība, nominālais sprieguma, slodzes lieluma un raksturs. Vadu aktīvo un induktīvo pretestību aprēķina pēc formulām *R = R*0 *∙ℓ* un *X = X*0 ∙*ℓ*.

Induktīvā pretestība ir atkarīga no vadu savstarpējā attā­luma un vada diametra. Instalācijas vadiem un kabeļiem ar alumī­nija un vara dzīslām šī pretestība ir niecīga šķērsgriezumiem, kuri mazāki par 16 - 25 mm2 , to aprēķinos var neieverot.

Ja ir pietiekami augsts jaudas koeficients cos *φ*, vadu induktī­vo pretestību ver neievērot arī vadiem vai kabeļiem, kuru šķērsgriezumi ir lielāki par 16 - 25 mm2 (skat. 1.8. tabulu).

1.8. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Vadu instalācijas veids** | **Maksimālie alumīnija vadu šķērsgriezumi, kuriem var neievēroti induktīvo pretestību, aprēķinot**  **sprieguma zudumus cos φ** | | | |
| **0,96** | **0,9** | **0,85** | **0,8** |
| Kabeļi ar spriegumu līdz 1 kV  Vadi caurulēs  Vadi uz rullīšiem  Vadi uz izolatoriem | 120  95  55  25 | 95  50  25  16 | 70  50  16  16 | 50  55  10  10 |

Sprieguma, zudumus trīsfāzu līnijai var aprēķināt pēc formulām



vai

 (1.44)

Ja virknē slēgti vairāki posmi, kam vada vai kabeļu šķērsgriezumi ir dažādi, tad sprieguma kritumu aprēķina sekojošie

 (1.45)

Jāņem vērā, ka *Pmn* un *Qmn* ir posmu jaudas. Jā līnijai ir vai­rāki posmi, šīs jaudas jāaprēķina kā atbilstošo slodžu jaudu summa.

Piemērs (1.18. att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  | 1.18. att. |

P11 = P1 + P2 + P3; Q11 = Q1 + Q2 + Q3;

P12 = P2 + P3; Q12 = Q2 + Q3;

P23 = P3; Q23 = Q3.

Literatūrā sastopamas arī citas formulas sprieguma zudumu aprēķināšanai.

Ja nepieciešams sprieguma zudumu izteikt procentos, tad



kur *UN* - nominālais spriegums.

Ja neievēro induktīvo pretestību vai reaktīvā slodze ir niecīga, sprieguma zudumu formula vienkāršojas:



**1.13. ELEKTROAPGĀDES SISTĒMU PROJEKTĒŠANA, MONTĀŽA UN**

**EKSPLUATĀCIJA**

Patērētāju elektroietaišu ekspluatāciju un projektēšanu organizē pēc nozaru principa.

Katrā nozarē atkarībā no tās īpatnībām izveido tai atbilstošu ekspluatācijas organizatorisko struktūru. Patērētāju elektrotehnis­kais personāls administratīvi ir pakļauts sava uzņēmuma vai orga­nizācijas vadībai, bet operatīvā ziņā arī energosistēmas operatīva­jam personālam. Bez tam patērētāju elektroietaišu ekspluatāciju un tehnisko stāvokli kontrolē un uzrauga energosistēmas enerģijas sadales uzņēmums. Pārējo elektroapgādes sistēmas daļu, kura neie­tilpst patērētāju vai specializēta nozares uzņēmuma bilancē, eks­pluatē energosistēma.

Rūpniecības uzņēmumos sastopamas divas galvenās patērētāju elektroietaišu ekspluatācijas organizatoriskās formas — elektrocehs un galvenā enerģētika dienests. Pirmā no tām raksturīga nelieliem un vidējiem, bet otrā — lieliem energoietilpīgiem uzņēmumiem; šo dienestu vada galvenais enerģētiķis, kas organizē un vada visu enerģijas veidu izmantošanu.

Pašvaldībās elektrosaimniecību organizē un vada galve­nais enerģētiķis vai vecākais enerģētiķis, vai arī inženieris vai teh­niķis elektriķis. Šos posteņus nosaka atkarībā no ražošanas vajadzī­bām patērētās elektroenerģijas daudzuma un no nosacītās vienībās izteikta elektroiekārtu skaita saimniecībā.

**2. NODAĻA**

**GAISVADU UN KABEĻU LĪNIJAS**

**2.1. VISPĀRĪGAS ZIŅAS**

Elektrisko tīklu izbūvei lieto kailvadus, izolētus vadus, kabeļus, kopnes, strāvvadus.

Pārvades un sadales līnijas izmanto sekojošo kabeļu produkciju:

* kailvadi un piekarkabeļi gaisvadu līnijām;
* spēka kabeļi stacionārai instalācijai spriegumam līdz 1 kV;
* spēka kabeļi stacionārai instalācijai spriegumam virs 1 kV (bruņotie kabeļi);
* spēka vadi un auklas, tajā skaitā apgaismes vadi un auklas un spēka vadi vispārēja pielietojuma.

Kail­vadus lieto gaisvadu līnijās, kā arī iekšējos elektriskajos tīklos, ja vadus var novietot pietiekamā augstumā.

Iekšējos elektriskos tīklus parasti izbūvē no izolētiem vadiem, kuru strāvu vadošā daļa ir pārklāta ar izolācijas materiālu. Izolētos vadus var novietot vietās, kur pie tiem var pieskarties cilvēks (pie­mēram, slēdža pievads dzīvojamā mājā). Izolācija pasargā vadus arī no to savstarpējas saskaršanās vai saskaršanās ar zemi.

Paplašinoties pilsētām, paplašinās arī elektriskie tīkli. Lai atbrī­votu ielas no ārējiem elektriskajiem tīkliem, izbūvē dažāda sprie­guma un nozīmes kabeļu līnijas.

**2.2. VADI UN KABEĻI GAISVADU ELEKTROPĀRVADES LĪNIJĀM.**

Gaisvadu elektrisko tīklu izbūvei lieto kailvadus un piekarkabeļus.

**2.2.1. KAILVADI.**

Kailvadus izgatavo no vara, alumīnija vai tērauda, un tiem nav izolācijas. Kailvadus var lietot tad, ja cilvēkam nav iespējams ne­jauši pie tiem pieskarties, Ja vadā ir spriegums un pie tā nejauši pieskaras cilvēks, viņa dzīvība ir apdraudēta. Saskaroties diviem kailvadiem, rodas īsslēgums un bojātais iecirknis atslēdzas. Ja kailvadi atrodas zem klajas debess, tie pakļauti atmo­sfēras ietekmei (vējš, apledojums, temperatūras izmaiņas) un gaisā atrodošos koroziju veicinošo piemaisījumu iedarbībai (ķīmisko rūp­nīcu un jūras tuvumā), tāpēc vadiem jābūt mehāniski izturīgiem un korozijizturīgiem. Agrāk gaisvadu līnijās lietoja galvenokārt vara vadus. Tagad līnijas izbūvē no alumīnija, tēraudalumīnija un tē­rauda vadiem. Lai ekonomētu varu, vara, bronzas un tēraudbronzas vadus gaisvadu līnijās nelieto.

Vadus pēc konstruktīvā izpildījuma iedala šādi:

1. vienstieples jeb viendzīslas vadi, kas sastāv no vienas stieples (2.1. att. *b*);
2. daudzdzīslu jeb daudzstiepļu vadi, kurus izgatavo no vara, alumīnija vai tērauda, savstarpēji savijot 7, 19, 37 vai 61 dzīslas (atkarībā no vada šķērsgriezuma) (2.1. att. *c*);
3. daudzdzīslu vadi, kurus izgatavo no diviem metāliem (alu­mīnijs—tērauds, tērauds — bronza) savstarpēji savijot 6, 18, 24, 26, 30, 42, 48, 51, 54, 76 vai 90 dzīslas (atkarībā no vada šķērsgriezuma) (2.1. att. *d*);

d) cauruļvadi (2.1. att. *e*).

Pašreiz rūpniecība ražo vadus pēc standarta IEC 61089 un 60228, klases 2, SFS 5701, NE 50182, ASTM B-232, BS 215 2.daļa, DIN 48204, ГOCT 839—80, taču eksplua­tācijā vēl ir agrāk ražotie vara, alumīnija, tērauda un tēraudalumīnija vadi

|  |  |
| --- | --- |
|  | 2.1. att. Gaisvadu līniju vadu kon­strukcijas:  *a* – vispārīgs skats; *b —* viendzīslas vads;  c— daudzdzīslu vads no viena metāla;  d — daudzdzīslu vads no diviem metāliem,  e— cauruļvads. |

**Vara vadi.** Vara vadus (apzīmē ar burtu M) izgatavo no cieti velmēta vara ar mazu īpatnējo omisko pretestību (*ρ* = 18,8 Ω∙mm2/km), bet rela­tīvi augstu mehānisko izturību ar graujošo stiepes spriegumu σgr = 39 daN/mm2. Vara vadi ir izturīgi pret koroziju, un tos praktiski nebojā atmosfēras piesārņojumi. Taču šie vadi ir dārgi, un tāpēc tos lieto ļoti reti.

**Alumīnija vadi.** Alumīnija vadus izgatavo ar šķērsgriezumu no 10 līdz 1500 mm2. Alumīnija vadiem mehāniskā izturība *σB* *=* 150-160 MPa, īpatnējā elektriskā vadītspēja *γ* = 32 MS/m. Sakarā ar mazo mehānisko izturību alumīnija vadus lieto vietējos elektris­kajos tīklos, kur attālums starp balstiem nav liels. Lai paaugstinātu vadu mehānisko izturību, alumīnija vadus izgatavo ar daudzām dzīslām. Alumīnija vadus apzīmē ar burtu A, piemēram, vads A-35. Alumīnija vadi labi iztur atmosfēras iedarbību, bet vāji pretojas ķīmiskajai iedarbībai. Ja gaisvadu līnija atrodas juras piekrastes, sālsūdens ezeru vai ķīmisko uzņēmumu tuvumā, jālieto gaisvadu līnijas vadi ar paaugstinātu korozijizturību.

**Tērauda vadi.** Tērauda vadiem īpatnējo elektrisko vadītspēju ne­uzrāda, jo tā ir atkarīga no strāvas lieluma. Salīdzinājumā ar alu­mīnija vadiem tērauda vadu īpatnējā elektriskā vadītspēja ir ma­zāka, bet mehāniskā izturība lielāka *(σB* = 550...770 MPa). Eks­pluatācijā vēl sastopami viendzīslas un daudzdzīslu tērauda vadi. To galvenais trūkums — tie nav korozijizturīgi, tāpēc vadu virsmu pārklāj ar cinka kārtiņu. Augstsprieguma līnijās aizsardzībai pret pārspriegumu lieto troses no tērauda vadiem.

**Tēraudalumīnija vadi.** Tēraudalumīnija vadus izgatavo ar šķērsgriezumu no 10 līdz 1250 mm2. Tēraudalumīnija vadus gaisvadu līnijās lieto visvairāk, jo tie ir mehāniski izturīgi (tērauda serde) un tiem ir liela īpatnējā vadītspēja (alumīnija dzīslas). Tēraudalumīnija vadu īpatnējo elektrisko vadītspēju pieņem vienādu ar tāda paša šķērsgriezuma alumīnija vada vadītspēju. Tērauda serdes īpatnējā elektriskā vadītspēja ir maza, tāpēc to aprēķinos neievēro. Izgatavo šādu marku daudzdzīslu tēraudalumīnija vadus: AC, ACSR, AT (alumīnija un tērauda daļu šķērsgriezumu attiecība 5,5...6:1), ACSR, ACУ— vadi ar pastiprinātu mehānisko izturību (alumīnija un tērauda daļu šķērs­griezumu attiecība 4...4,5:1), ACO — atvieglotas konstrukcijas vads (alumīnija un tērauda daļu šķērsgriezumu attiecība 8:1), ACK — korozijizturīgs vads.

**Aldreja vadi.** Aldreja vadu īpatnējā elektriskā vadītspēja ir par 10...12% mazāka nekā alumīnija vadiem, bet to mehāniskā iztu­rība ir divas reizes lielāka. Aldrejs ir alumīnija sakausējums ar dzelzi (≈ 0,2%), magniju (≈ 0,7%), silīciju (≈0,8%). Atkarībā no magnija un silīcija daudzuma un apstrādes paņēmiena aldreja vadus izgatavo ar dažādu mehānisko izturību. Korozijizturības ziņā aldreja vadi līdzvērtīgi alumīnija vadiem.

**Cauruļvadi.** Lai samazinātu koronas zudumus, jāpalielina vada diametrs. Ja vadu izgatavo blīvu, vada šķērsgriezums netiek pilnīgi izmantots, jo, vados plūstot maiņstrāvai, novērojams virsmas efekts. Tāpēc izgatavo arī dobus vadus (cauruļvadus). Cauruļvadus izga­tavo no alumīnija vai vara. Tos izmanto galvenokārt apakšstaciju kopnēm, ja spriegums ir 330 kV un augstāks. Vada atsevišķās daļas savieno, izveidojot rievsavienojumus (sk. 2.1. att. *e*)*.* Gaisvadu līnijās izmanto arī šķeltos vadus.

0,4 kV un 20 kV sprieguma līnijās pēdējos gados montāžai iz­manto jaunas konstrukcijas un materiālu vadus. Ja gaisvadu līnija atrodas jūras piekrastes, sālsūdens ezeru vai ķīmisko uzņēmumu tuvumā, rekomendē lietot speciālas mar­kas vadus (alumīnija, korozijizturīgi, spraugas starp atsevišķām dzīslām aizpildītas ar neitrālu ziežvielu).

Atkarība no pielietojuma izmanto dažāda tipa tēraudalumīnija vadus:

a - vads, kas sastāv no vairākām cinkota tērauda dzīslām veidotas serdes, ap kuru ir alumīnija dzīslas;

b - tēraudalumīnija vads, kuram spraugas starp serdes tērauda dzīslām vai starp visa vada dzīslām ir aizpildītas ar ziežvielu, kas aizsargā vadu pret koroziju (vadus lieto juras piekrastes, sālsūdens ezeru vai ķīmisko uzņēmumu tuvumā);

c - tēraudalumīnija vads, kuram tērauda serdes dzīslas izolētas.

Tēraudalumīnija vadus izgatavo ar dažādu tērauda dzīslu un alumīnija dzīslu šķērsgriezumu attiecību: 1 :6,0...6,16, ja vads no­vietots normālas mehāniskās slodzes apstākļos; 1: 4,29..4,39, ja vads novietots palielinātas mehāniskās slodzes apstākļos; 1:0,65...1,46, ja vads novietots ļoti lielas mehāniskās slodzes apstākļos; 1 : 7,71...8,03 — atvieglotas konstrukcijas vads; 1 : 12,22...18,09 — ļoti atvieglotas konstrukcijas vads.

Atkarībā no vada markas un šķērsgriezuma vadus izgatavo ar noteiktu garumu (celtniecības garums).

No mehāniskās izturības viedokļa pieļauja­mais vadu minimālais šķērsgriezums dots 2.1. tabulā.

Izstrādājumi parastajām **kailvada līnijām** aptver visplašāk pielietojamu vadu diapazonu. Plašs armatūras klāsts nodrošina vienkāršu, ekonomisku un vispusīgu sistēmu līniju uzbūvēšanai atbilstoši vispārīgiem Eiropas standartiem.

**2.2.2.** **PIEKARKABEĻA SISTĒMA AR NEIZOLĒTO NESOŠO NULLVADU**

**AMKA -** 1 kV gaisvadu vītais pašnesošais alumīnija kabelis. Piekarkabelis AMKA sastāv no viena līdz pieciem izolētiem fāzes vadiem kuri apvīti ap nesošo nullvadu. Nesošais vads tiek izmantots ka PEN-dzīsla. Fāzes vadi izolēti ar atmosfēras izturīgu blīvu melnu polietilēnu, nesošais nullvads izgatavots no alumīnija sakausējuma (izturība pret stiepes deformāciju 300 N/mm²) un uzņem visas mehāniskās slodzes.

Fāzes vadu šķērsgriezums var būt no 16 mm² līdz 120 mm² atkarībā no slodzes strāvas, maksimāli pieļaujamā sprieguma krituma un īsslēguma strāvas. Nesošā nullvada šķērsgriezums var būt no 16 mm² līdz 95 mm² (atkarībā no mehāniskajiem un elektriskajiem parametriem). Kabelim papildus var būt viens vai divi izolēti vadi ielu apgaismojumam.

**Pielietojums.** Gaisvadu elektropārvades līnijām.

Augstāka pieļaujamā dzīslas temperatūra - pie nepārtrauktas darbības 70 0C, īsslēgums (ilgums līdz 5 s) - 135 0C . Zemāka ieteicamā uzstādīšanas temperatūra mīnus 20 °C

**Uzbūve.** Vads 16 mm2 - apaļa un monolīta alumīnija dzīsla, vads 25-120 mm2 - apaļa, atdedzināta un kompakta alumīnija dzīsla. Izolācija - klimata noturīgs melns PE. Nesošais vads - apaļš, atdedzināts un kompakts alumīnija sakausējuma vads. Izvietojums - izolētie vadi tiek savīti apkārt nesošajam vadam.

2.1. tabula

**No mehāniskās izturības viedokļa pieļaujamais minimālais vadu šķērsgriezums**

**gaisvadu līnijās ar spriegumu virs 1000 V**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Gaisvadu līnijas raksturojums | Vadu šķērsgriezums | | |
| vadi ar AH markas alumīnija sakausējuma dzīslām | tēraudalumī­nija vadi ar AЖ markas alumīnija sakausējuma dzīslām | tērauda vadi |
| Gaisvadu līnija bez šķērsojumiem rajonos ar apledojuma kārtiņas biezumu:  līdz 10 mm  15 mm un vairāk  Pārejās pār kuģojamām upēm un kanā­liem rajonos ar apledojuma kārtiņas biezumu:  līdz 10 mm  15 mm un vairāk  Pārejās neatkarīgi no apledojuma rajona:  pār sakaru līnijām  par virszemes cauruļvadiem un trošu ceļiem  Pārejās pār dzelzceļiem rajonos ar apledojuma kārtiņas biezumu:  līdz 10 mm  15 mm un vairāk | 35  50  70  70  70  70  —  — | 25  35  25  25  35  35  35  50 | 25  25  25  25  25  Nedrīkst izmantot  Nedrīkst izmantot  Nedrīkst izmantot |

*Piezīme.* Pārejās, kuras tabulā nav uzrādītas, atļauts lietot tādus pašus vadus kā līnijās bez šķērsojumiem. Tā, piemēram, pārejās pār automobiļu ceļiem, trolejbusu un tramvaju līnijām.

**Dzīslu identifikācija.** Fāzes dzīslas 2, 3 vai 4 gareniskas rievas. Papildus dzīsla - nav rievu (2.2. att.).

**Standarti.** SFS 2200, HD 626-5D S1

**Nominālais spriegums.** U0/U = 0.6/1 kV, Um=1.2 kV

|  |  |
| --- | --- |
| ilmajohto_pien_01 |  |

2.2. att. Piekarkabelis AMKA

**2.2.3. PIEKARKABEĻA SISTĒMA AR IZOLĒTO NESOŠO NULLVADU**

Piekarkabelis sastāv no viena līdz pieciem izolētiem alumīnija fāzes vadiem kuri apvīti ap izolētu nesošo nullvadu no alumīnija sakausējuma (izturība pret stiepes deformāciju 300 N/mm²). Vadi izolēti ar atmosfēras izturīgu blīvu melnu polietilēnu. Nesošais nullvads uzņem visas mehāniskās slodzes (2.3. att.).

Fāzes vadu šķērsgriezums var būt no 16 mm² līdz 150 mm² atkarībā no slodzes strāvas, maksimāli pieļaujamā sprieguma krituma un īsslēguma strāvas. Nesošā nullvada šķērsgriezums var būt no 25 mm² līdz 95 mm² (atkarībā no mehāniskajiem un elektriskajiem parametriem).

**2.2.4. ČETRU IZOLĒTO VADU SISTĒMA**

Piekarkabelis sastāv no četriem identiskiem izolētiem vadiem (šķērsgriezums no 16 līdz 185 mm²) , mehāniskā slodze sadalās starp tiem vienmērīgi (2.4 att.). Tie ir izgatavoti no izturīga alumīnija, izturība pret stiepes deformāciju katram vadam ir 150 N/mm². Tā kā šī slodze sadalās starp visiem vadiem, tad piekarkabeļa kopējā izturība ir diezgan augsta. Vadi izolēti ar atmosfēras izturīgu blīvu melnu polietilēnu PE vai cauršūto polietilēnu XLPE. Kabelim papildus var būt viens vai divi izolēti vadi ielu apgaismojumam.

|  |  |
| --- | --- |
| IMWS |  |

2.3. att. Piekarkabelis ar izolēto nesošo nullvadu

**EX** (ALUS, СИП-1А, СИП-4, СИП-5) - 1 kV gaisvadu vītais kabelis ar PE izolētām alumīnija dzīslām. Pielietojums - gaisvadu elektropārvades līnijām.

Augstāka pieļaujamā dzīslas temperatūra pie nepārtrauktas darbības — 70 °C, īsslēgums (ilgums līdz 5 s) - 135 °C

**Uzbūve.** Vads - apaļa, apdedzināta un kompakta alumīnija dzīsla. Izolācija - klimata noturīgs melns PE. Izvietojums - izolēti vadi savīti kopā.

**Dzīslu identifikācija.** Fāzes dzīslas 2, 3 vai 4 gareniskas rievas (2.5. att.).

Papildus dzīsla - nav rievu. СИП-1А, СИП-4, СИП-5 – bez rievām.

**Standarti.** HD626-3I. **Nominālais spriegums.** U0/U = 0.6/1 kV, Um=1.2 kV

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

2.4. att. Četru izolēto vadu sistēma: *a* - piekarkabelis СИП-4; *b* - piekarkabelis EX

|  |
| --- |
| 2.5. att. Dzīslu identifikācija: A, B, C – fāzes vadi, 0 - nullvads |

**2.2.5. IZOLĒTO VADU SISTĒMAS VIDĒJA SPRIEGUMA TĪKLIEM**

**Izolēto vadu sistēmas** (vēl sauktas par SAX, PAS vai BLX) tika izstrādātas lai samazinātu bojājumu skaitu salīdzinoši ar kailvada sistēmām vidēja sprieguma tīklos. Papildus ieguldījumi līniju izbūvē bieži vien pilnībā tiek kompensēti ietaupot ar mazākiem līnijas trases platumiem, ar mazākiem izdevumiem līniju apkalpošanā un nodrošinot kvalitatīvāku elektroenerģijas piegādi. Armatūra izolēto vadu sistēmai ir derīga visiem šķērsgriezumiem un vadu tipiem, to ir viegli montēt.

|  |  |
| --- | --- |
| Kabelis SAX-W | image008_1 Kabelis СИП-3 |

2.6. att. Izolēto vadu sistēmas vidēja sprieguma elektrotīkliem

**SAX-W 20 kV**. Sistēmu pielieto uzstādīšanai stabos kā daļu no gaisvadu SAXM – sistēmas ar spriegumu līdz 20 kV un frekvenci 50 Hz.

Augstākā pieļaujamā dzīslas temperatūra pie nepārtrauktas darbības – 800C; īsslēgums (ilgums līdz 5 s) – 2000C. Zemākā ieteicama guldīšanas temperatūra – mīnus 20 °C

**Uzbūve.** Vads - apaļš, kompakts ūdensizturīgs alumīnija sakausējuma vads, atbilst standartam IEC 104 Type A. Apvalks - apkārtējo apstākļu izturība, melns XLPE maisījums (2.6. att. un P.1.12. pielikums).

Standarts. SFS 5791. Nominālais spriegums: U0/U = 12/20 kV, Um = 24 kV.

**2.3. ZEMSPRIEGUMA GAISA VADU TĪKLA LĪNIJAS**

Gaisa vadu līnija apvidus situācijas kartē sauc par tās *trasi*. Projektējot trasi ir nepieciešami tās izvietojumu saskaņot ar pašvaldībām un visām ieinteresētām iestādēm.

|  |  |
| --- | --- |
| 2.7. att. | Gar trasi tiek uzstādīti balsti, kuros iekar vadus (2.7. att.). Par līnijas pārlaidumu *l* sauc attālumu horizontālā plaknē starp diviem līnijas balstiem, uz kuriem nostiprināti vadi. Līnijas projektos kā projektēšanas lielums figurē pārlaiduma garums *l*. Vertikālu attālumu starp vada fiksācijas vietu pie izolatora un vada zemāko vietu pārlaiduma sauc par nokāri *f*. Šā punkta attālumu no zemes sauc par *gabarītu h* (2.8. att.). |

Par enkurbalstu pārlaidumiem *la* sauc līnijas posmu starp diviem enkurbalstiem.

Zemsprieguma līnijām pārlaidums var būt 35-40 m; apdzīvotās vietās pārlaidumi var būt pēc vajadzības mazāki: gabarīts - 6 m; horizontāls attālums starp vadiem - 30 cm; vertikāls attālums - 40 cm.

|  |
| --- |
| *Vadu stiepes spēks*. To ir piepūle dekaņūtonos (daN), vai kgf, kas darbojas vada ass virzienā.  Mehāniskais spriegums, daN/mm², ir īpatnējā piepūle uz vada šķērsgriezuma laukuma 1 mm2*.*  Zemsprieguma līniju balstiem kā materiālu visbiežāk izmanto vienlaidus koksnes vai koksni ar dzelzsbetona pastabiem. Koksnes balstiem tievgala diametram jābūt ne mazākam par 14 cm un palīgelementiem 12 cm. Šādi balsti ir paredzēti alumīnija vadu līdz 50 mm2 nostiprināšanai. Enkurbalsti iztur līdz 530 kG vadu nostiepumu.  Izplatītākais balsta veids ir *starpbalsti* (2.8. att.). Tos uzstāda taisnos līnijas posmos. Vietās, kur līnijas šķērso kaut kādus objektus gabarītu nodrošināšanai izmanto pagarinātus starpbalstus. |
|  |

2.8. att. Gaisvadu līnija: 1 – enkurbalsts; 2 – starpbalsti; 3 – vads; 4 – ekrantrose; 5 - atsejgirlande;

6 – piekargirlande; 7 – uzstiepšanas (натяжная) girlande; *l* – pārlaidums; *la* - anker pārlaidums; *ldz* – dzelzceļa pārlaidums; *h* – gabarīts; *f* – nokāre.

Vadi balstiem līnijā rada nostiepes piepūles. Tāpēc ir nepieciešami sarežģītāki balsti, kas uzņem nelīdzsvarotas nostiepes piepūles celšanas periodā vai avārijas gadījumos, atslogojot starpbalstus. Šādus balstus sauc par *enkurbalstiem* kuriem paredz atbalstus un pastiprinātu vadu pievienojumu. Pie sarežģītiem balstiem pieder arī stūra, gala, krustojumu un nozarbalsti 2,9. un 2.10. att.). Sarežģītiem balstiem noturībai pret izraušanu gruntī izmanto 500 mm garus ne tievākus par 18 cm diametrā vai unificētiem dzelzsbetona pastabiem 500x175x110 mm šķēršļus.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |

2.9. att. Zemsprieguma (līdz l kV) tīkla koka balsti: *a* — starpbalsts, *b* —gala balsts, *c* — stūra balsts; 1 - dzelzsbetona pastabs, 2 – koka stabs, 3 – dzelzsbetona rigels

Sarežģītiem balstiem pastiprinājumam var izmantot atsaites no 25 mm2 tērauda troses vai armatūras dzelzs. Tās ir jāzemē ar zemētāju, kura pretestība ir ne lielāka par 10 Ω vai arī atsaitē jāparedz izolators ne zemāk par 2,5 m lai novērstu pieskares spriegumu gadījumos, ja atsaite nonāk zem sprieguma.

*Gala* balstus lieto līnijas sākumā un beigās, kur vadiem ir vienpusīga nostiepe. *Stūra* balstus - līnijas trases pagriezienos. *Krustojuma* balstus - līniju savstarpējas krustojumu vietās. *Nozarbalstus -* nozarojumu pieslēgšanas vietās. Pēdējos trīs gadījumos, pārbaudot noslodzi, var izmantot arī starpbalstus.

Līnijās lieto alumīnija un tērauda-alumīnija vadus, kuriem ir labas elektriskās un mehāniskās īpašības. Alumīnija elektrovadītspēja ir γ = 31,7 m/Ω∙mm2 un stiepes izturība *σ =* 16 kG/mm. Daudzdzīslu vadu izturība ir 85-90% no stiepļu summārās izturības, jo tās vadā slogojas nevienmērīgi. Tēraudalumīnija vadiem centrālā dzīsla ir tērauda, kas palielina vada izturību.

|  |
| --- |
| ***a b c d e***  2.10. att. 20 kV sprieguma līniju koka balsti: *a* — starpbalsts, *b —* pagarinātais starpbalsts,  *c* un *d* — stūra balsti, *e —* pa­garinātais enkurbalsts. |

Vadu izvietojums balstā var būt izpildīts vairākos veidos (2.11. att.), galvenais nosacījums - ievērot pieļaujamos attālumus no vada līdz balsta konstrukcijām, no vada līdz vadam, no vada līdz zemei un šķērojošām komunikācijām, citā līnijām un no vada līdz aizsargtrosei. Ir izvirzīts vēl viens nosacījums - aizsargtroses nokare laidumā nedrīkst būt lielāka par vada nokāri.

|  |  |
| --- | --- |
| 2.11. att. Vadu un ekrāntrošu izvietojums uz balstiem:  *a* – trīsstūra virsotnēm; *b* – horizontāla; c – apgriezta egle; c – muca. | 2.12. att. Aizsagtroses aizsargleņķis |

Kā aizsargtroses pielieto tērauda troses vai OPGW troses. Mūsdienās tērauda aizsargtroses pārklāj ar pretkorozijas pārklājumu, kā alumīnijs, cinks.

Aizsargtroses uzdevums ir aizsargāt fāzes vadus no tiešiem zibens trāpījumiem. Lai notiktu maksimālā aizsardzība, aizsargtrose vienstatņa metāla un dzelzsbetona balstiem tiek montēta tā, lai nodrošinātu ne lielāku aizsargleņķi par 30° (2.12. att.).

Svarīgi, lai zibens spēriens trāpītu aizsargtrosē un pa to maksimāli ātri tiktu novadīts zemē. Zemē tas tiek novadīts caur zemējuma kontūru. Tāpēc svarīgi ir pareiza kontūra veidošana ar iespējami mazāku kontūra pretestību, kas paātrina zibens lādiņa novadi zemē. Zibens trāpījuma laikā aizsargtrosē neliela daļa no pārsprieguma inducēsies arī vados. Šis pārspriegums tiek novadīts zemē līnijas galos ar pārsprieguma izlādņu palīdzību. Ja aizsargtroses nebūtu, zibenim trāpot tieši vados, tā lādiņš uz zemi tiktu novadīts pa izolatoru ķēdēm. Šādā gadījumā tiktu bojāti izolatori, rastos zemes slēgums un līnija atslēgtos.

Aizsargtroses izturība atkarīga no troses metālisko daļu šķērsgriezuma kopējā laukuma. Jo lielāks laukums, jo lielāks diametrs, jo izturība pret zemesslēguma strāvām lielāka. Piemēram, ALCATEL firmas aizsargtrosei ar 12,1 mm diametru izturība ir 7,4 kA, bet aizsargtrosei ar 21,1 mm diametru izturība ir 26,3 kA. Latvijā pārsvarā tiek izmantotas tērauda troses TK-50 un TK-70.

No izturības viedokļa zemsprieguma tīklos kā minimāli pieļaujami vadu šķērsgriezumi ir: alumīnija 35 mm2 un tēraudalumīnija vadiem 10 mm2 un neapdzīvotās vietās alumīnija 25 un tēraudalumīnija vadiem 16 mm2.

Uz vadiem iedarbojas vēja spiediens, slapjš sniegs, sarma, ledus svars. Vislielākās slodzes rada vējš un apledojums, ko aprēķinos ņem vērā kā vienmērīgu slodzi līnijas garumā.

Ekspluatējot gaisvadu līnijas, jārēķinās ar daudziem apkārtējās vides iedarbes faktoriem: izolatoru girlandes pārklāšanās zibens iespaidā, vadu apledojums, vēja iedarbība uz vadiem un balstiem, apkārtējās gaisa temperatūras ietekme, līniju metālisko konstrukciju bojājumi atmosfēras piesārņojumu rezultātā u.c. Līnijas visu konstrukcijas sastāvdaļu (vadu, izolatoru, ekrāntrošu, armatūras, balstu) smaguma spēki ir ievērojami, un tie mainās atkaribā no liniju vadu (trošu) markas, nominālā sprieguma, pārlaiduma garuma, balstu konstrukcijas un materiāla. Smaguma spēku lielums, rēķinot uz vienu balstu, var but no dažiem simtiem daN līdz desmitiem tūkstošiem daN. Šo smaguma spēku iedarbība ir vērsta vertikāli uz leju.Ja gaisvadu līnijas vads vai vadi pārtrūkst vienā no linijas pārlaidumiem (avārijas režīms), tad veselajā līnijas daļā vadu piekares punktos (blakus pārlaidumos) vadu smaguma spēks un veselo vadu stiepes spēks veido horizontālā virzienā vērstu spēku. Šī spēka lielums var svārstīties no dažiem desmitiem daN līdz vairākiem tūkstošiem daN.

Nevēlama parādība līnijās ir vadu apledojums, kas parasti notiek pie pazeminātām apkārtējā gaisa temperatūrām (-3) – (-7) **°**C. Retāk vadu apledojumu novēro pie (-8) – (-12) **°**C. Elektriskā strāva, kas plūst pa vadiem, ir tuva ekonomiski lietderīgajai, un tās iedarbībā vadu temperatūra ir tikai par 2-3°C augstāka nekā apkārtējā gaisa temperatūra. Līdz ar to vadu apledojuma veidošanās netiek aizkavēta. Apledojuma veidošanās intensitāte ir atkarīga no gaisa mitruma piesātinājuma pakāpes un mitrā gaisa pārvietošanās ātruma. Vadu apledojuma intensitāte palielinās līdz ar balstu augstuma palielināšanos. Vadu apledojuma sieniņu biezums var būt no dažiem milimetriem līdz vairākiem centimetriem. Apledojuma rezultātā ievērojami palielinās vadu smaguma spēks vairāki desmiti un simti daN, un pieaug mehāniskie smaguma spēki uz balstiem.

Nevēlama parādība gaisvadu līnijām ir gaisa masu kustības kinētiskā enerģija, kuru uzņem līniju konstrukcijas. Parasti pieņem, ka vēja spiediens uz vadiem, trosēm un balstiem ir horizontāli vērsts. Šo spēku lielums vidēji uz vienu balstu sasniedz vairākus desmitus un pat simtus daN. Projektējot gaisvadu līnijas, bieži jāievēro maksimālais vēja ātrums, kas Latvijas teritorijā atsevišķos gadījumos sasniedz 20 - 25 m/s. Vadu un trošu vibrāciju arī rada vēja iedarbība. Šo parādību izsauc vienmērīga gaisa masu plūsma šķērsām vada asij ar nelielu ātrumu 4-8 m/s. Vadam otrā pusē rodas gaisa virpuļi (2.13. att. *a*). Novērojama vēja periodiska atraušanās no vada apakšējās un augšējās daļas. Ja virpulis atraujas no vada apakšējās daļas, tad vada aizvēja pusē parādās riņķveida gaisa plūsma, kā rezultātā vada augšējā daļā gaisa plūsmas ātrums ir lielāks nekā vada apakšējā daļā (2.13. att. *b*). Secīgu gaisa virpuļu veidošanās vada aizvēja pusē rada periodisku gaisa kustības ātruma palielināšanos te vada augšējā daļā, te vada apakšējā daļā. Palielināta ātruma apgabalā veidojas neliels gaisa retinājums, kura ievelkas vads. Ja virpuļu veidošanas frekvence sakrīt vai ir tuva vada pašsvārstību frekvencei, sākas vada vibrācijas process. Vadu un trošu vibrācija raksturojas ar samērā nelielu svārstību frekvenci: no dažām svārstībām sekundē līdz 10 svārstībām sekundē. Svārstību amplitūda var sasniegt vairākus desmitusmm*.*

Vibrācija izsauc vada (troses) atsevišķo stiepļu daudzkārtīgu locīšanos, kā rezultātā atsevišķās stieples vada pievienojuma vietā pie spailēm pārtrūkst. Tātad vibrācija izraisa papildus mehānisko slodzi, kuras rezultātā vadā rodas papildus stiepes spriegumi. No šī viedokļa EIN ierobežo vadu pieļaujamo spriegumu σe vidējās gada temperatūras gadījumā. Vibrāciju novēršanai līnijās uzstāda vibrācijas slāpētājus (2.14. att.).

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***c*** |
| ***b*** | ***Py***  ***α***  ***d*** |

2.13. att. Vadu vibrācijas un „vadu dejas” veidošanas process: *a*, *b* – virpuļu veidošanas process aiz vada; *c* – „vadu deja” pārlaidumā; *d* – apledojis vads gaisa plūsmā

|  |  |
| --- | --- |
|  | 2.14. att. Vibrācijas  slāpētāji |

Vēja iedarbības rezultātā (10 - 30 m/s) gaisvadu līnijās veidojas tā saucamā "*vadu deja*" (2.13. att. c). Ar šo nevēlamo parādību visbiežāk sastopas pie ievērojama vēja ātruma un vadu apledojuma. Dažreiz "vadu deja" novērojama līnijās arī bez vadu apledojuma. "*Vadu deja*" raksturojas ar salīdzinoši mazu svārstību frekvenci (dažas svārstības sekundē) un lielu svārstību amplitūdu (vairāki metri), vadu svārstībās notiek plaknēs, kas tuvas vertikālajai .Vadu (trošu) dejas" parādīšanos izskaidro ar vada, pārklāta ar ledus kārtu, aerodinamiskajām īpašībām, iedarbojoties uz to gaisa masām, kuras pārvietojas leņķī, kas mazāks par 90° attiecībā pret līnijas asi un arī horizontāla plaknē. Tā ka apledojums veido nepareizu vada formu, gaisa masu ātrums vada augšējā un apakšējā daļā nav vienāds. Ātrums palielinās augšējā daļā, kā rezultātā samazinās spiediens un rodas cēlējspēks *Py* (2.13. att. *d*). Apledojušu vadu ar ievērojamu masu "deja" līnijas pārlaidumos izraisa lielu dinamisko spēku rašanos un to iedarbību uz vadu nostiprināšanas mezgliem pie izolatoriem un izolatoru nostiprināšanas mezgliem pie balstu traversām. Sekas "vadu dejai" var būt līnijas armatūras un traversas bojājumi, kā arī atsevišķo līnijas fāžu un trošu savstarpējā savienošanās. Galvenais līdzeklis "vadu dejas" novēršanai, ja vadi ir apledojuši, ir ledus izkausēšana ar palielinātu strāvu līnijā. Gaisa temperatūras izmaina savukārt rada vadu un trošu pagarināšanos vai saīsināšanos, kā rezultātā izmainās vadu, trošu un balstu detaļu materiāla mehāniskais spriegums. Tāpēc apkārtējā gaisa temperatūra ir jāievēro, novērtējot līnijas darba apstākļus. Latvijas teritorijā diennakts un sezonu gaisa temperatūras izmaiņu pieņem no (-35)°C līdz +35°C. Mitrums, gaisa un augsnes piemaisījumu ķīmiskais sastāvs negatīvi iedarbojas uz līniju konstrukciju elementiem, izraisot metālisko dalu oksidēšanās procesus, kā arī izsaucot ķīmisko un elektroķīmisko koroziju tajos.

**Līniju izolatori.** Galvenais uzdevums ir nodrošināt dzīvībai bīstama sprieguma nerašanos uz balsta konstrukcijām un nodrošināt pašas līnijas darbību jebkuros atmosfēras apstākļos.

Izolatoru skaitu un tipu nosaka līnijas spriegums, darba apstākļi, gaisa piesārņojums un mehāniskā slodze. Izolatori tiek iedalīti atbilstoši elektromehāniskām graujošām slodzēm (kN) un attiecīgi apzīmēti ar pieļaujamo slodzi.

Līniju izolatoriem vienlaikus jānodrošina nepieciešamā mehāniskā un elektriskā izturība. Sakarā ar to, ka izolatori ir pakļauti atmosfēras iedarbībai un tiem ir jāiztur dažādi pārspriegumi un arī elektriskā loka izlāde, tos izgatavo no elektro­tehniskā porcelāna vai arī no rūdīta stikla.

Izolēto vadusistēmu līnijās izmanto porcelāna un stikla izolatorus (2.15. att.). Ja uz izolatoriem jānostiprina vairākus vadus (piemēram, enkurbalstos), tad lieto izolatorus ar vairākiem kakliņiem. Izolatoru skaits virtenē vai izolatoru garums atkarīgs no līnijas spriegumiem. Jo lielāks spriegums, jo vairāk izolatori virtenē, vai garāks izolators.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 2.15. att. Tapas un šķīvveida piekarizolatori: *a* – tapas izolators 6-10 kV; *b* – tapas izolators 20-35 kV; *c* – šķīvjveida piekarizolators; 1 – izolators (stikls, porcelāns); 2 – cepure; 3 - stienis |

Mūsdienās veicot līniju remontu vai rekonstrukciju darbus izvēlas uzstādīt polimēra vai silikona izolatorus (2.16. att. *d*, *e*). Šie izolatori ir gan dārgāki, bet to tehniskie raksturlielumi ir daudz labāki salīdzinājumā ar porcelāna un stikla izolatoriem. Arī kalpošanas laiks ir nesalīdzināmi lielāks.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***c*** | ***d*** |
| ***b*** | ***e*** |

2.16. att. Izolatori SAX vadiem: *а* — SDI 30; *b* и *c* — SDI 37; *d* un *e*— stieņu SDI 50

**Armatūra.** Par armatūru sauc tās piekarķēdes un atsējķēdes daļas, kas kalpo izolatoru piestiprināšanai pie traversas, vadu piekāršanai pie izolatoriem un zibens aizsardzības troses piekāršanai pie balsta konstrukcijām (2.17. att.).

Armatūras iedalījums:

* spailes (vadu un trošu piekāršanai un nostiprināšanai);
* sakabes armatūra (austiņas, osas, skavas, jūgi, starpposmi);
* aizsargarmatūra (gredzeni, ragi, vibrācijas slāpētāji);
* vadu savienošanas armatūra (dažādas spailes);
* spraušļi noteikta attālumu nodrošināšanai starp kūļvadu.

Katrai armatūrai virsū ir apzīmējums ar noteikto maksimāli pieļaujamo graujošo slodzi.

To parasti apzīmē tonnās (7, 12, 16 t). Dažādu firmu armatūras var būt nesaderīgas sava starpā. Latvijā pārsvarā visās līnijās ir uzmontēta Krievijā ražotā armatūra. Nedaudz, pie jaunu līniju celtniecības, ir uzmontēta ari Rietumu valstīs ražotā armatūra.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 2.17. att. Līnijas armatūra |

Izolatorus balstos nostiprina uz kāšiem un traversēs (2.18. att.) uz tapām (2.19. att.), kuru pieļaujamas slodzes ir dotas rokasgrāmatās.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** |  |
| ***b*** |  |
| ***c*** |  |

2.18. att. Firmas Nokia traversēs SАХ vadiem:

*а* — dzelzsbetona starpbalstiem; *b* — gala balstiem; *c* — enkurbalstiem

|  |
| --- |
|  |

2.19. att. Tapas SOT 24

**Balstu stiprinājums gruntī** ir atkarīgs no grunts īpašībām. Tās iedala trijās kategorijās.

I. kategorija (vidējās gruntis) - sausie: māls, mālaina smilts, smilšains māls, rupjas smiltis.

II. kategorija (vājas gruntis) - mitra mālaina smilts, smalka un vidējā smilts, cieši slokšnains smilšains māls.

III. kategorija (ļoti vājās gruntis) - ūdens piesātināta mālaina smilts, smalka dūņaina smilts, slokšnains māls un slokšnains smilšains māls.

Starpbalstu stiprināšana ir sekojošā. I kategorijas gruntīs - dzelzsbetona elementus: 1,6 m dziļi bez šķēršļiem. II kategorijas gruntīs — ar šķēršļiem

Koka balstus I un II kategorijas gruntīs 1,5-2 m dziļi bez šķēršļiem atkarībā no grunts īpašībām. Vājās un ļoti vājās gruntīs lieto šķēršļus vai dzelzsbetona pamatu plāksnes. Enkurbalstus, gala balstus I un II kategorijas gruntīs — ar pamatu plāksnēm vai šķēršļiem— 2,2 m dziļi, to atbalstus 1,1-1,45 m dziļi un atsaites ar pamatu plāksnēm 2,2-2,5 m dziļi. Balstu nostiprināšanu izpilda urbtās bedrēs.

**Līniju drošība.** Lai nodrošinātu elektrisko tīklu, iekārtu un būvju ekspluatācijas drošību, tiek noteiktas ekspluatācijas aizsargjoslas.

Ap elektrisko tīklu sadales iekārtām, transformatoru apakšstacijām aizsargjoslā ietilpst zemes gabals un gaisa telpa 1 metra attālumā katrā pusē no šo iekārtu nožogojuma vai to visvairāk izvirzīto daļu projekcijas uz zemes.

Aizsargjoslas gar elektriskajiem tīkliem veido:

1) gar elektrisko tīklu gaisvadu līnijām pilsētās un ciemos — zemes gabals un gaisa telpa, ko norobežo nosacītas vertikālas virsmas abpus līnijai:

* gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu līdz 20 kilovoltiem— 2,5 metru attālumā no līnijas ass,
* gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu vairāk par 20 kilovoltiem līdz 110 kilovoltiem — 4 metru attālumā no malējiem vadiem uz ārpusi no līnijas,
* gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu vairāk par 110 kilovoltiem— 8 metru attālumā no malējiem vadiem uz ārpusi no līnijas;

2) gar elektrisko tīklu gaisvadu līnijām ārpus pilsētām un ciemiem, kā arī pilsētu lauku teritorijās — zemes gabals un gaisa telpa, ko norobežo nosacītas vertikālas virsmas abpus līnijai:

* gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu līdz 20 kilovoltiem — 6,5 metru attālumā no līnijas ass,
* gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu vairāk par 20 kilovoltiem līdz 110 kilovoltiem — 20 metru attālumā no malējiem vadiem uz ārpusi no līnijas,
* gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu vairāk par 110 kilovoltiem—30 metru attālumā no malējiem vadiem uz ārpusi no līnijas;
* gar elektrisko tīklu kabeļu līnijām — zemes gabals un gaisa telpa, ko norobežo nosacītas vertikālas virsmas kabeļu līnijas katrā pusē 1 metra attālumā no kabeļu līnijas ass. Ja kabelis atrodas tuvāk par l metru no ēkas vai būves, tad šajā kabeļa pusē aizsargjoslu nosaka tikai līdz ēkas vai būves pamatiem:
* gar elektrisko tīklu kabeļu līnijām, kuras zem ūdens līmeņa šķērso virszemes ūdensobjektus, — ūdens platība, ko visā dziļumā no ūdens virsmas līdz gultnei ietver paralēlas plaknes 100 metru attālumā katrā pusē no kabeļu līnijas ass;
* ap elektrisko tīklu sadales iekārtām, fīderu punktiem un transformatoru apakšstacijām — zemes gabals un gaisa telpa, ko norobežo nosacīta vertikāla virsma 1 metra attālumā ārpus šo iekārtu nožogojuma vai to vistālāk izvirzīto daļu projekcijas uz zemes vai citas virsmas.

Aprobežojumi gar elektriskajiem tīkliem noteikti Aizsargjoslu likuma 35.un 45.pantā.

Aizsargjoslās gar elektriskiem tīkliem ir noteikti šādi aprobežojumi:

* aizliegts aizkraut pievedceļus un pieejas elektrisko tīklu objektiem;
* aizliegts izveidot lopbarības, minerālmēslu, degvielas, kokmateriālu noliktavas;
* aizliegts aizsargjoslās gar gaisa vadu līnijām ierīkot sporta laukumus, rotaļu laukumus, tirgus, sabiedriskā transporta pieturas, mašīnu un mehānismu stāvvietas un organizēt jebkādu cilvēku pulcēšanos;
* aizliegts aizsargjoslās gar pazemes elektropārvades kabeļlīnijām veikt darbus ar triecienmehānismiem, nomest smagumus, izmest un izliet kodīgas un koroziju izraisošas vielas, degvielu un eļļošanas materiālu;
* aizliegts celt, kapitāli remontēt vai nojaukt jebkuras ēkas un būves bez komunikāciju īpašnieku atļaujas;
* aizliegts veikt derīgo izrakteņu iegūšanas, iekraušanas un izkraušanas, gultnes padziļināšanas, meliorācijas darbus, kā arī izvietot lauku apmetnes un mehanizēti laistīt lauksaimniecības kultūras;
* aizliegts skaldīt ledu;
* aizliegts braukt ar mašīnām un mehānismiem, kuru augstums pārsniedz 4,5 metrus;
* aizliegts veikt zemes darbus dziļāk par 0,3 metriem, bet aramzemēs – dziļāk par 0,45 metriem, kā arī veikt grunts planēšanu ar tehniku;
* aizliegts veikt darbus, kas saistīti ar zemju applūdināšanu uz laiku;
* koku un krūmu audzēšana elektrisko tīklu trasēs pieļaujama ar elektrisko tīklu īpašnieka rakstveida atļauju.

Aizsargjoslām gar sakaru līnijām ir šāds minimāls platums:

􀃖 gar pazemes kabeļu, gaisvadu un radiofikācijas telekomunikāciju līnijām - zemes gabals un gaisa telpa telekomunikāciju līnijas augstumā, ko norobežo nosacītas vertikālas plaknes telekomunikāciju līnijas katrā pusē 2,5 m attālumā no pazemes kabeļu līnijas vai no gaisvadu līnijas ass;

􀃖 ap virszemes un pazemes telekomunikāciju kabeļu līniju neapkalpojamiem pastiprināšanas punktiem - zemes gabals un gaisa telpa telekomunikāciju līnijas augstumā, ko norobežo nosacīta vertikāla plakne, kas atrodas 3,0 m attālumā no pastiprināšanas punkta vai no tā apvaļņojuma robežas;

􀃖 stigām mežu masīvos un stādījumos, kur koku augstums nav lielāks par 4 m - 2,5 m katrā pusē no līnijas ass līdz koku zariem;

􀃖 stigām mežu masīvos un stādījumos, kur koku augstums ir lielāks par 4 m- 3,5 m katrā pusē no līnijas ass līdz koku zariem.

Aprobežojumus aizsargjoslās gar sakaru līnijām nosaka aizsargjoslu likuma 35. un 43.pants.

Aizsargjoslās gar sakaru līnijām bez saskaņošanas ar sakaru līnijas vadītāju aizliegts:

􀃖 veikt jebkādus celtniecības, montāžas un spridzināšanas darbus dziļāk par 0,5 metriem un planēšanu ar tehniku;

􀃖 izdarīt ģeoloģiskās un ģeodēziskās izpētes darbus, kas saistīti ar urbumiem, zemes paraugu ņemšanu;

􀃖 stādīt kokus, izvietot lauka apmetnes, turēt lopus, nokraut materiālus, lopbarību un mēslojumu, kurt ugunskurus un ierīkot šautuves;

􀃖 zem sakaru līnijām pārvadāt gabarītiem neatbilstošas kravas, kā arī ierīkot autotransporta , traktoru un mehānismu stāvvietas;

􀃖 lietot laužņus, kapļus, ķīļus un pneimatiskos instrumentus, rokot zemi tuvāk par vienu metru no kabeļa līnijas abās tās pusēs;

􀃖 aizliegts veikt jebkādas citas darbības, kas var izraisīt sakaru līniju un iekārtu bojājumus.

**2.4. KABEĻU LĪNIJAS**

Pašreiz sadales tīklos ļoti bieži izmanto kabeļu līnijas. Vidējā sprieguma (6-20 kV) kabeļu līnijas kopgarums Latvijā 2005. gadā sastāda 4180 km, zemsprieguma (līdz 1 kV) kabeļu līnijas – 10897 km.

Rūpnīcu elektroapgādes sistēmās tīkla kopgaruma lielākā daļa ir kabeļu līnijas. 6-20 kV sprieguma kabeļu līnijas ierīko no gal­venās pazeminošās apakšstacijas līdz sadales pun­ktiem vai cehu apakšstacijām. Rūpniecības uzņēmumiem ar mazu uzstādīto jaudu saite ar energosistēmu tiek nodrošināta pa 10 kV vai 20 kV sprieguma kabeļu līnijām. Kabeļu plašo lietošanu nosaka vairāki faktori:

1. kabeļu līnijas aizņem maz teritorijas, kas ir sevišķi svarīgi pilsētās, kā arī modernu kompaktu rūpniecības uzņēmumu celtniecībā un rekonstrukcijā;
2. kabeļu līnijām salīdzinājumā ar gaisvadu līnijām ir daudz augstāks darba drošums;
3. praktiski nepastāv elektrotehniski ierobežojumi nepieciešamo jaudu plūsmu pārvadīšanai.

**2.4.1. SPĒKA KABEĻI.**

*Kabeļi* paredzēti elektroenerģijas kanalizācijai, un tie sastāv no viena vai vairākiem savstarpēji izolētiem vadītajiem, kuri ievietoti hermētiskā aizsargapvalkā, kas izveidots no gu­mijas, plastmasas, alumīnija vai svina. Kabeļi, kuriem virs aizsarg­apvalka ir tērauda lenšu, apaļu vai plakanu tērauda stiepļu segums — bruņas (aizsardzībai pret mehānis­kiem bojājumiem), sauc par bruņotu kabeli. Ja kabeļa aizsargapvalks vai bruņas nav pārklāti ar piesūcinātu džutas appinumu, šādus kabeļus sauc par kailiem kabeļiem.

Izšķir spēka kabeļus un kontrolkabeļus.

Spēka kabeļus izmanto elek­troenerģijas pārvadei un sadalei apgaismes un spēka elektroietaises, kā arī gadījumos, kad kabeļus izman­tot ir ekonomiskāk un tehniski mērķ­tiecīgāk nekā vadus.

**Standarti.** Vadi un kabeļi tiek izgatavoti atbilstoši esošajiem starptautiskajiem standartiem. Kabelis atbilst standartu prasībām, kas ir norādīts konkrētā kabeļa aprakstā.

Izmēru un svara rādītāji ir jāņem vērā kā nominālie.

**Nominālie spriegumi.** Zemāk norādītajā 2.2. tabulā tiek norādīti visbiežāk izplatītie nominālie kabeļu spriegumi, kas atbilst starptautiskajam standartam IEC 38.

2.2. tabula

**Nominālie spriegumi**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U0/U | kV | 0,6/1 | 3,6/6 | 6/10 | 12/20 | 18/30 |
| Um | kV | 1,2 | 7,2 | 12 | 24 | 36 |
| Up | kV | - | - | 75 | 125 | 170 |

U0 - nominālais spriegums starp dzīslu un zemi; U - nominālais spriegums starp dzīslām; Um - maksimālais darbības spriegums, kas ietekmē jebkuru tīkla daļu un uz kuru neattiecas īslaicīgas sprieguma svārstības, kas radītas pie palaišanas, atslēgšanas vai traucējumu situācijās; Up - impulsīvā sprieguma pīķa lielums starp katru atsevišķu dzīslu un zemi.

**Kabeļu konstrukcija.** Kabeļi pēc konstrukcijas, tehniskiem raksturojumiem un ekspluatācijas īpašībām atbilst standartiem IEC 60827, IEC 60840, IEC 60 502-1 un *CENELEC* standartiem HD 620, HD 632.

Tagad stacionārajos spēka tīklos izmanto kabeļus ar izolāciju no šūtā polietilēna (PE), kas ir drošāki ekspluatācijā, nekā kabeļi ar papīra izolāciju un ekoloģiski tīrāki (konstrukcijā neizmanto svina, bituma, eļļas). Patlaban gandrīz visos ES valstīs izmanto spēka kabeļus tikai ar izolāciju no šūtā polietilēna. Daudzdzīslu kabeļu konstrukcija paradīta 2.20. attēlā, viendzīslu vidējā sprieguma kabeļa konstrukcija paradīta 2.21. attēlā.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **1 2 4 9** | **1 2 4 5 6 7 8 9** | |
| ***a*** | ***b*** | |
| 2.20. att. Daudzdzīslu kabeļu konstrukcija ar izolāciju no šūtā polietilēna  *a* – spēka kabelis bez bruņas, *b* – bruņots spēka kabelis; 1 - strāvu vadošā dzīsla; 2 - dzīslu izolācija no šūtā polietilēna (PE); 3 - aizpildītāji no kabeļauduma vai cita materiāla; 4 - savienošanas lente; 5 - jostas izo­lācija no PVC plastikāta vai polietilēna; 6 - tērauda lenšu bruņas; 7 - bitums; 8 - aptinums no polietipentereftalatas plēves; 9 – liesmu kavējošs aizsargpārklājums (apvalks) noPVC plastikāta (IEC 60332) | | |
|  | |
| **1 2 3 4 5 6 7 8 9** | |

2.21. att. Viendzīslu vidējā sprieguma kabeļu konstrukcija ar izolāciju no šūtā polietilēna

1 - strāvu vadošā dzīsla; 2 – dzīslas ekrāns no pusvadoša šūtā polietilēna; 3 – izolācija no šūtā polietilēna; 4 - ekrāns no pusvadoša šūtā polietilēna; 5 – sadalījuma slānis no strāvu vadošās lentes; 6 – ekrāns no vara stieplēm, kas savienoti ar vara lentes; 7 - sadalījuma slānis; 8 – slānis no alumopolimērās lentes; 9 – liesmu kavējošs apvalks no polietilēna, plastikāta vai PVC plastikāta.

Spēka kabeļa strāvu vadošās dzīslas izgatavo no viena vai vairākiem alumīnija vai vara vadiem. Dzīslās šķērsgriezuma forma var būt aplis, kā arī sektors vai segments (2.22. att.).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Izolācija  Strāvu vadoša dzīsla |  | Izolācija  Strāvu vadoša dzīsla |  | Izolācija  Strāvu vadoša dzīsla |
| *a -* dzīslās šķērsgriezuma forma sektors | | *b -* dzīslās šķērsgriezuma forma aplis | | *c -* dzīslās šķērsgriezuma forma  segments | |

2.22. att. Kabeļu dzīslās šķērsgriezuma forma

Lietojot šādus sektora vai segmenta formas šķērsgriezuma kabeļus, var paaugstināt to kopējā šķērsgriezuma lietderīgā aizpildījuma pakāpi. Kabeļu diametrs ar sektoru vai segmenta formas dzīslām ir mazāks par 20-25%. Mazāks ir arī materiālu patēriņš. Daudzstiepļu dzīslu sablīvēšana arī dod materiāla ekonomiju. Sablīvētas un nesablīvētas dzīslās šķērsgriezumi paradīti 2.23. un 2.24. attēlā.

Spēka kabeļa strāvu vadošās dzīslas izgatavo no vara, alvota vara un alumīnija stieplēm atbilstoši standartam IEC 60228, DIN VDE 0295,ГОСТ 22483-77 ar izmaiņām №1, №2. Vara un alumīnija dzīslas kabeļiem stacionārai instalācijai sadala uz 1 un 2 klasi, bet lokaniem kabeļiem – uz 3, 4, 5 un 6 klasi (2.25. att.).

|  |  |
| --- | --- |
| ***a b***  2.23. att. Apaļas dzīslas šķērsgriezums  (*a* - nesablīvēta dzīsla; *b* – sablīvēta dzīsla) | ***a b***  2.24. att. Kabeļu šķērsgriezums ar sektora formas dzīslām (*a* - nesablīvēta dzīsla; *b* – sablīvēta dzīsla) |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 klase    Vads (N)YM(St)-J, ПВ-1 | Izolācija  Strāvu vadoša dzīsla | 2 klase    Vads NYM-J, ПВ-2 | | Izolācija  Strāvu vadoša dzīsla |
| 3 klase    Vads/kabelis HO5Z-K,  HO7Z-K, ПВ-3 | Izolācija  Strāvu vadoša dzīsla | 4 klase    Kabelis KRANFLEX NSHTOU, КГ | Izolācija  Strāvu vadoša dzīsla | |
| 5 klase    Vads/kabelis H05VV-F, H03VV-F, SIF, JZ-500, ПВС | Izolācija  Strāvu vadoša dzīsla | 6 klase    Kabelis JZ-HF-500, КОГ | Izolācija  Strāvu vadoša dzīsla | |

2.25. att. Vadu un kabeļu dzīslu klasēs

Dzīslu krasās atbilstoši standartam DIN VDE 0293 doti P.1.8. pielikumā. Stan­darts Cenelec HD 308 S2:2001 nosaka dzīslu krāsojumu fiksētās montāžas un lokanajiem kabeļiem. Zaļi - dzeltenā dzīsla paredzēta aizsardzībai (PE), vai kopējā - aizsardzībai un nullei (PEN), pirmās dzīslas krāsa – brūna, otrās dzīslas – melna, trešās dzīslas – pelēka, ceturtās dzīslas krāsa - zila.

Atsevišķu dzīslu izolācijai lieto speciālu plastmasu. Izolācijas kārtas biezums un aizpildījuma veids ir atkarīgs no kabeļu nominālā darba sprieguma un dzīslas šķērsgriezuma.

Atsevišķu dzīslu izolācijai lieto speciālu plastmasu. Izolācijas kārtas biezums un aizpildījuma veids ir atkarīgs no kabeļu nominālā darba sprieguma un dzīslas šķērsgriezuma.

Atsevišķu dzīslu izolācijai lieto speciālu plastmasu. Izolācijas kārtas biezums un aizpildījuma veids ir atkarīgs no kabeļu nominālā darba sprieguma un dzīslas šķērsgriezuma.

**Minimālais locījuma rādiuss.** Minimāla kabeļa locījuma rādiusa norādījumi to instalācijas laikā tiek noteikti galvenajos kabeļa rādītājos (2.3. tab.).

2.3. tabula

**Minimālais locījuma rādiuss**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Viendzīslas kabelis | Trīsdzīslu kabelis |
| Instalācijas gadījumā | 15 D | 12 D |
| Montāža gadījumā | 10 D | 8D |

D – kabeļa diametrs.

Galējās uzstādīšanas laikā tiek pieļauts vienreizējs locījuma rādiusa pielietojums līdz 30% mazāks kā norādīts un tikai ar nosacījumu, ka locījums tiks veikts vienmērīgā režīmā.

**Maksimālais nostiepuma spēks.** Kabeļu guldīšanas darbu laikā tiek pielietotas vilcēja uzmava un maksimālais pieļaujamais nostiepuma spēks tiek norādīts konkrētā kabeļa datu aprakstā: kabelis ar alumīnija dzīslām 10-15 N/mm2, bet ne vairāk par 40 N/mm2; kabelis ar vara dzīslām 10-20 N/mm2, bet ne vairāk par 70 N/mm2. Šo apjomu var pareizināt ar visu kopā saliktu dzīslu šķērsgriezu­mu, bet nepārsniedzot 8500 N.

Pielietojot speciālo vilkšanas mehānismu maksimālo pieļaujamo nostiepuma spēku var palielināt: kabelis ar alumīnija dzīslām 50 N/mm2; kabelis ar vara dzīslām 100 N/mm2. Šo apjomu var pareizināt ar visu kopa saliktu dzīslu šķērsgriezumu, bet nepārsniedzot 20 000 N.

Ja vilkšana tiek veikta ar atbalstu prettērauda nodrosi, tad pieļaujamais vilkšanas spēks nedrīkst pārsniegt 130 N/mm2, kas pareizināts ar nodroses šķērsgriezumu.

**Minimālās pieļaujamas uzstādīšanas temperatūras.** Speķa kabeļu uzstādīšanas laikā kabeļa temperatūra nedrīkst būt zemāka par norādītajām vērtībām:

Spēka kabeļi uz spriegumu ≤1 kV ar plastmasas izolāciju un ar apvalku no PVC — mīnuss 15 °C.

Spēka kabeļi uz spriegumu 1 kV < U < 30 kV ar izolāciju no šūtā PE ar apvalku no PVC — mīnuss 5 °C; ar apvalku no šūtā PE — mīnuss 20 °C. Spēka kabeļi uz spriegumu >30 kV ar izolāciju no šūtā PE ar apvalku no PVC — mīnuss 5 °C; ar apvalku no PE — mīnuss 15 °C

Pie zemākām temperatūrām kabelim ir jānodrošina priekšlaicīga uzsildīšana. Nepieciešamo kabeļa temperatūru var sasniegt to vairākas dienas glabājot apsildītās telpās vai arī pielietojot speciālas uzsildīšanas iekārtas.

**Guldīšanas veidi.** Kabeļu grupu ar PE izolāciju var novietot trīsstūrī (2.26.att.) vai plaknē (2.27.att.). Izvēle ir atkarīga no dzīslas šķērsgriezumu, no montāžas vieta un no ekrāna zemēšanas veida.

Kabeļus, kuru dzīslas ir izolētas ar gumijas vai plastmasas izolāciju, stāvās un verti­kālās kabeļu trasēs var izmantot bez ierobežoju­miem.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 2.26. att. Kabeļu guldīšana trīsstūrī |  | 2.27. att. Kabeļu guldīšana plaknē |

***Kabeļa metāliskā ekrāna zemēšana.*** Kabeļu sistēmas projektēšanas laikā var būt izmantoti dažādas metodes kabeļa metāliskā ekrāna zemēšanai. 2.28. att. un 2.29. att. paradīti parastas zemēšanas metodes. Atvērta shēma: kopējie kabeļu ekrāni ir savienoti un sazemēti tikai vienā trases galā. Aizvērta shēma: kopējie kabeļu ekrāni ir savienoti abos trases galos uz sazemēti jebkura gadījumā vienā trases galā.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 2.28. att. Kabeļu ekrāna zemēšanas aizvērta  shēma | 2.29. att. Kabeļu ekrāna zemēšanas atvērta shēma |

**Elektriskā pretestība.** Katalogā katram kabeļu tipam tiek noradīta maksimālā standar­ta pieļaujamā vērtība elektriskajai pretestībai strāvas dzīslām pie nepārtraukta sprieguma un temperatūras +20 °C.

Metālisko apvalku un kopējo ekrānu elektriskā pretestība pie nepārtrauktas strāvas ir aprēķinu rādītāji.

Saistībā ar maiņstrāvas pretestību un zemāk norādītajiem faktoriem ir jāņem vērā papildus zudumi, kas rodas atkarībā no virsmas vai saskarsmes: frekvence 50 Hz kopējā ekrāna ķēde ir noslēgta uzstādot trīsstūrveidā viendzīslu kabeļi saskaras, savukārt izvieto­jot to vienā līmenī, distance starp kabeļiem ir vienāda ar ārējo kabeļa diametru.

Ir iespējams pārrēķināt elektrisko pretestību pie nepārtraukta spriegu­ma arī citās temperatūrās pēc sekojošas formulas:

*Rt = R*20[1 *+ a*20(*t -* 20)], (2.1)

kur: *Rt* -elektriskās pretestības vērtība pie temperatūras t0C, Ω;

*R*20 - elektriskās pretestības vērtība pie temperatūras 20 °C, Ω;

*t* - strāvas nesošās dzīslas temperatūra, °C

*a*20 – īpatnējas pretestības temperatūras koeficients (1 /°C) ar vērtību: 0,00393 1/°C vara

dzīslām, 0,00403 1/°C alumīnija dzīslām/apvalkiem, 0,00400 1/°C apvalkiem no svina sakausējuma

**Kapacitativā pretestība.** Kapacitatīvās pretestības vērtības ir vidējie rādītāji, kas ņemti izejot no temperatūras +20 °C un nominālo spriegumu ar frekvenci 50 Hz. Paaugstinot strāvas nesošās dzīslas temperatūru no +20 °C līdz maksimāli pieļaujamai kabeļa darbības temperatūrai, tad kapacitatī­vās pretestības apjoms paaugstinās aptuveni par 40%. Tas attiecas uz speciālajiem kabeļiem ar izolāciju no PVX.

Īsslēguma uz zemi apjoms palielinās atbilstoši kapacitatīvās pretestības apjomam. Izlādes un īsslēguma strāvas apjomi uz zemi ir aprēķinu vērtības pie frekvences 50 Hz.

Kapacitīvo pretestību aprēķina:

 (2.2)

kur *ε –* relatīva dielektriskā caurlaidība;

*d0* – izolācijas ārējais diametrs, mm;

*di* – dzīslu diametrs ar ekrānu, mm;

*εspe* = 2,3.

Kabeļa kapacitatīvas pretestības aprēķiniem var izmantot aptuvenas datus no 2.4. tabulas.

2.4. tabula

|  |  |
| --- | --- |
| **Dzīslas nominālais šķērsgriezums, mm2** | **Kabeļa kapacitāte, μF/km** |
| ar apaļo dzīslu |  |
| 35 | 0,29 |  |
| 50 | 0,32 |  |
| 70 | 0,37 |  |
| 95 | 0,41 |  |
| 120 | 0,45 |  |
| 150 | 0,50 |  |
| 185 | 0,54 |  |
| 240 | 0,59 |  |
| 300 | 0,60 |  |
| 400 | 0,64 |  |
| 500 | 0,66 |  |
| 630 | 0,73 |  |
| 800 | 0,82 |  |

Dielektriskie zudumi var aprēķināt, izmantojot formulu

 (2.3)

kur *U* – nominālais spriegums, kV;

*f* – frekvence, Hz;

*C* – kapacitāte, μF/km;

*tgδ* – dielektrisko zudumu tangensa leņķis.

**Induktīvā pretestība.** Induktīvās pretestības vērtības, kas norādītas katram kabelim atse­višķi, ir aptuvenas (sk. P.2.29. tab.). Viendzīslu kabeļu induktīvas pretestības vērtība tiek noteikti atbilstoši sekojošajam: uzstādīšana vienā līmenī, attālums starp kabeļiem ir vienāds ar ārējo kabeļa diametru, uzstādot trīsstūrveida kabeļi saskaras.

Induktivitātes aprēķins (2.30. att.):

  (2.4)

kur *К* = 1 uzstādot trīsstūrveidā;

*К* = 1,26 uzstādīšana vienā līmenī;

s – attālums starp dzīslu ass, mm;

*r* – dzīslu rādiuss, mm.

Induktīvo pretestību var aprēķināt, izmantojot formulu:

  (2.5)

kur *f* – frekvence, Hz;

*L* – induktivitāte, μH/km

**Pieļaujamā kabeļa dzīslas sasiluma temperatūra.** Ilgstoši pieļaujama maksimāla strāvas nesošās dzīslas darbības temperatūra: kabeļi ar 1 kV slodzi ar izolāciju no PVC — +700C, kabeļi ar izolāciju no šūtā PE: +90 0C.

Pieļaujamā kabeļa dzīslas sasiluma temperatūra avārijas režīmā ar izolāciju no PVC — +90 0C, kabeļi ar izolāciju no šūtā PE: +130 0C.

Lai nodrošinātu mehānisko un elektrisko izolācijas noturību termiskā slodze, kas ir īsslēguma iemesls, tiek ierobežota ar maksimālo galējo temperatūru noteikšanu strāvas vadošo dzīslu īsslēgumiem.

– kabeļi ar šūto PE izolāciju: +250 °C;

– kabeļi ar PVC izolāciju ar 1 kV spriegumu: ≤ 300 mm2: +60 0C; > 300 mm2: +140 *°*C.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

2.30. att. Ilustrācija induktivitātes un induktīvas pretestības aprēķiniem

Norādītie maksimālie pieļaujamie īsslēguma strāvas apjomi tiek aprēķināti balstoties uz faktu, ka sākotnējā temperatūra strāvas nesošajā dzīslā ir maksimālā pieļaujamā darbības temperatūra.

1 sekundes īsslēgumu apjomi ir strāvas nesošās dzīslas termiskās izturības rādītājs. Maksimālo pieļaujamo termiskās strāvas apjomu īsslēguma gadījumā ar ilgumu no 0,2 līdz 5 sekundēm var noteikt pēc zemāk noradītās formulas:



kur *I*1*s* -1 sekundes termiskais īsslēguma strāvas apjoms, kA

*t* - īsslēguma ilgums, s

*Guldot zemē kabeļus ar šūtā polietilēna izolāciju ir jāņem vērā fakts, ka ilgstoša dzīslas temperatūra +90 °C apjomā var izžāvēt apkārtējo augsni un tādējādi būt par iemeslu kabeļa pārslodzei. Ņemot to vērā nepieciešams ierobežot dzīslu ar izolāciju no šūtā polietilēna, kuras tiek guldītas zemē, ilgstošu temperatūras apjomu līdz +65 °C.*

**Dinamiskā slodze.** Īsslēguma strāvas mehāniski noslogo ne tikai kabeli, bet arī armatūru. Maģistrālo tīklu un lielu elektrostaciju tuvumā dinamiskās slodzes nozīme pie īsslēgumiem ir daudz lielāka nekā attālinātās tīkla daļās. Ir nepieciešams pārbaudīt armatūras dinamisko izturību kā arī paša kabeļa nostiprinājumu. Tas jo īpaši attiecas uz augstsprieguma sistēmām un paralēlo gaisvadu trašu kabeļiem

Īsslēguma momentā maksimālie iedarbības spēki tiek pārvērsti īsslēguma trieciena strāvā, kura ietekme pārsniedz īsslēguma strāvas apjomu 2,5 reizes.

Dinamisko slodžu samazināšana līdz minimumam bez drošas armatūras pielietojuma prasa arī izmantot paredzēto montāžas tehniku.

Dinamisko slodzi starp kabeļiem var aprēķināt ar formulu:

 (2.6)

kur *I* = 2.5∙*Iīsl*, kA

*Iīsl* – īsslēguma strāva, kA;

*s* – attālums starp kabeļu ass, m;

*F* – maksimālais spēks, N/m.

**2.4.2. SPĒKA KABEĻI AR GUMIJAS IZOLĀCIJU.**

Spēka kabelis ar gumijas izolā­ciju (2.31.att.) var būt bez bru­ņām vai bruņots ar ārējo segumu. Strāvu vadošo dzīslu šķērsgriezumu diapazons ir 1-500 mm2. Šos ka­beļus lieto stacionāru ietaišu tīklos ar maiņspriegumu līdz 500 V un ar līdzspriegumu līdz 1000 V, kā arī elektroietaisēs ar darba maiņsprie­gumu 3, 6 un 10 kV. Ir arī speciālas kabeļu markas, kurus izmanto kustīgam savienojumam telpās vai ārpus telpām (darba galdos, liftos, celtņos, transportēšanas iekārtās un konveijeros, spēka ķēdēs un visur, kur kabelis tiek pakļauts vilkšanai vai dauzīšanai pret zemi, vai tiek izmantots arī kā trose), ievērojot norādīto temperatūras diapazonu. Kabeļi ir laikapstākļu un UV staru izturīgi. Dzīslas sastāv no smalkām tīra alumīnija vai vara šķiedrām, gumijas (PCH) saturošas dzīslu izolācijas, dzīslas savītas kopā ar speciālām izturīgām papildus dzīslām, ārējā apvalka izolācijai izmantots speciāls gumijas (PCH) savienojums melns, liesmu kavējošs. Visos kabeļos ar trīs vai vairākām dzīslām viena ir dzeltena/zaļa un tā ir novietota ārējā slānī. Pārējās dzīslas ir krāsainas. Markas un lietošanas joma spēka kabeļiem ar gumijas izolāciju dotas katalogos.

|  |  |
| --- | --- |
| **1 2 3 4 5** | **1 2 3 4 5 6 7 8** |
| ***a*** | ***b*** |
| 2.31. att. Spēka kabelis ar gumijas izolāciju: *a* – kabelis bez bruņas, *b* – bruņots kabelis: 1 - strāvu vadošā dzīsla; 2 – apvalks; 3 – izolācija; 4 – aptinums; 5 – apvalks; 6 – spilvens; 7 – bruņa; 8 – segums. | |

**Tehniskie dati zemsprieguma kabeļiem ar gumijas izolāciju.** Nominālais maiņspriegums ar frekvenci 50 Hz – 660 V, nominālais līdzspriegums – 1000 V, maksimāla dzīslas darba temperatūra – +700C, īsslēguma maksimāla dzīslas temperatūra – +2000C, apkārtējas vides temperatūra - +50/-50 0C, minimālās pieļaujamas uzstādīšanas temperatūras – mīnuss 150C, locījuma rādiuss – viendzīslas kabeļiem – 7,5 D, daudzdzīslu kabeļiem – 10 D.

110—220 kV spriegumam ražo ar gāzi vai eļļu pildītus kabeļus.

**2.4.3. KONTROLKABEĻI.**

Kontrolkabeļus lieto datu pārraidei spēka ķēdēs, vadības ķēdēs, releja aizsardzības ķēdēs. Kontrolkabeļus (2.32. att.) izga­tavo ar 4-61 dzīslām, dzīslu šķērsgriezums — 0,75-10 mm2. Kabeļus izmanto brīvam savienojumam, statiskai instalācijai vai kustīgam savienojumam.

|  |  |
| --- | --- |
| **1 2 7** | **1 2 3 4 5 6 7** |
| ***a*** | ***b*** |

2.32. att. Kontrolkabelis: *a* – kontrolkabelis bez bruņas, *b* - bruņots kontrolkabelis; 1 - strāvu vadošā dzīsla; 2 – izolācija; 3 - sadalījuma slānis; 4 – bruņa; 5 - izolācija; 6 – PET plēve; 7 - apvalks

**Uzbūve**. Dzīslas sastāv no smalkām tīra alumīnija vai vara šķiedrām, polivinilhlorīda (PVC), gumijas vai polyolefina saturošas dzīslas izolācijas, dzīslas savītas kārtās, apkārt dzīslām aptīts auduma materiāls, tam seko sapīts vara vai alumīnija ekrāns (bruņa), ārējā apvalka izolācijai izmantots polivinilhlorīds (PVC), gumija vai speciāls halogēnbrīvs poliuretāna (PUR) savienojums, liesmu kavējošs (IEC 60332.1). Dzīslas ir krāsainas.

**Tehniskie dati.** Nominālais maiņspriegums ar frekvenci līdz 100 Hz – 660 V, nominālais līdzspriegums – 1000 V, maksimāla dzīslas darba temperatūra – +700C, apkārtējas vides temperatūra - +50/-50 0C, minimālās pieļaujamas uzstādīšanas temperatūras – nebruņotiem kabeļiem — mīnuss 150C, bruņotiem kabeļiem — mīnuss 50C.

**Kabeļu marķēšana.** Ka­beļu markas apzīmējumā ietilpst burti, kas norāda kabeļa elementu konstruk­ciju. Burtu secība markas apzīmējumā atbilst kon­strukcijas elementu secī­bai, sākot no kabeļa dzīs­lām.

**2.4.4. KABEĻU MARKAS IZVĒLE.**

Kabeļu markas izvēli nosaka apkār­tējās vides apstākļi, kabeļu trases profils un sarežģītība, kā arī kabeļa likšanas veids. Kabeļu konstrukcija (marka) un šķērsgriezums ir jāizvēlas, ievērojot vissmagākos apkārtējās vides apstākļus visā kabeļa ga­rumā. Telpās, kur ir novērojama vibrācija, jāuzstāda kabeļi ar alumīnija vai plastmasas apvalku. Iz­vēloties kabeļus jāievēro, ka stiepes slodze kabeļiem var rasties, tos liekot dažādos uzbērumos, purvainās vai jaukta sastāva gruntīs, ūdenī, kā arī montējot tos pa vertikālām konstrukcijām. Zemsprieguma tīkliem aptuveni kabeli var izvēlēt pēc 2.5. tabulas.

Ja kabeļus liek tuneļos, blokos vai citās slēgtās ietaisēs, tad nav pieļaujams lietot kabeļus ar degošu aizsargpārklājumu, bet tiem ir jābūt pārklātiem ar nedegošu pretkorozijas materiālu. Zonās, kur ir paaugstināta korozijaktivitāte vai arī grunts satur vielas, kas var sagraut metāla apvalkus, jālieto kabeļi ar pastip­rinātu aizsargslāni.

20 kV sprieguma līnijām lieto arī viendzīslas kabeļus, ja nevar lietot trīsdzīslu kabeļus to īsā celtniecības garuma dēļ. Viendzīslas kabeļu šķērsgriezumi jānosaka, ņemot vērā apvalku sasilšanu indu­cēto strāvu dēļ.

2.5. tabula

**Kabeļa dzīslu šķērsgriezumu izvēle**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Atklāta instalācija** | | | | | | **Kabeļa dzīslu šķērsgriezums, mm2** | **Segtā instalācija** | | | | | |
| **Varš** | | | **Alumīnijs** | | | **Varš** | | | **Alumīnijs** | | |
| **Strāva, А** | **Jauda, kW** | | **Strāva, А** | **Jauda, kW** | | **Strāva, А** | **Jauda, kW** | | **Strāva, А** | **Jauda, kW** | |
| **220 V** | **380 V** | **220 V** | **380 V** | **220 V** | **380 V** | **220 V** | **380 V** |
| 11 | 2,4 | - | - | - | - | 0,5 | - | - | - | - | - | - |
| 15 | 3,3 | - | - | - | - | 0,75 | - | - | - | - | - | - |
| 17 | 3,7 | 6,4 | - | - | - | 1,0 | 14 | 3,0 | 5,3 | - | - | - |
| 23 | 5,0 | 8,7 | - | - | - | 1,5 | 15 | 3,3 | 5,7 | - | - | - |
| 26 | 5,7 | 9,8 | 21 | 4,6 | 7,9 | 2,0 | 19 | 4, 1 | 7,2 | 14 | 3,0 | 5,3 |
| 30 | 6,6 | 11 | 24 | 5,2 | 9, 1 | 2,5 | 21 | 4,6 | 7,9 | 16 | 3,5 | 6,0 |
| 41 | 9,0 | 15 | 32 | 7,0 | 12 | 4,0 | 27 | 5,9 | 10 | 21 | 4,6 | 7,9 |
| 50 | 11 | 19 | 39 | 8,5 | 14 | 6,0 | 34 | 7,4 | 12 | 26 | 5,7 | 9,8 |
| 80 | 17 | 30 | 60 | 13 | 22 | 10 | 50 | 11 | 19 | 38 | 8,3 | 14 |
| 100 | 22 | 38 | 75 | 16 | 28 | 16 | 80 | 17 | 30 | 55 | 12 | 20 |
| 140 | 30 | 53 | 105 | 23 | 39 | 25 | 100 | 22 | 38 | 65 | 14 | 24 |
| 170 | 37 | 64 | 130 | 28 | 49 | 35 | 135 | 29 | 51 | 75 | 16 | 28 |

**2.4.5. KABEĻU LĪNIJU UZBŪVES VEIDI.**

Rūpniecības uzņēmumu terito­rijā spēka kabeļus vai nu liek zemē izraktās tranšejās, vai arī spe­ciāli iebūvētos tuneļos, uz estakādēm, galerijās, blokos.

Visvienkāršākā un arī lētākā ir kabeļu likšana *tranšejās* (2.33. att.)*.* Lai kompensētu iespējamās kabeļu termiskās deformācijas un varbūtējo grunts sēšanos, kabeļus tranšejās liek ar viļņveida līkumiem, kas palielina kabeļu kopējo garumu par 3% attiecībā pret tranšejas ga­rumu. Nepieciešamības gadījumā vienā tranšejā var ievietot vairākus kabeļus. Taču jāievēro, ka, liekot kopā sešus un vairākus spēka ka­beļus, to pieļaujamā noslodze pēc silšanas ļoti strauji samazinās. Tāpēc vienā tranšejā iesaka likt ne vairāk par sešiem 6 kV vai 10 kV sprieguma kabeļiem un ne vairāk par trīs 20 kV sprieguma kabe­ļiem. Ja kabeļu trasei ir jāšķērso citas pazemes komunikācijas, tad kabeļu aizsardzībai izmanto dzelzsbetona, azbestcementa, kerami­kas vai plastmasas caurules. Tērauda caurules lieto tikai tad, ja kabeļus liek ar caurduršanas paņēmienu.

Jāpiebilst, ka kabeļu likšana tranšejās ir neperspektīvs apakš­zemes kabeļu kanalizācijas variants un jaunajos rūpniecības uzņē­mumos arvien vairāk lieto kabeļu likšanu *kanālos* vai *tuneļos.* Salī­dzinājumā ar kabeļu likšanu tranšejās kabeļu kanālu izbūve ir daudz dārgāka. Taču kabeļi kanālos ir labi mehāniski aizsargāti un tos ir ērti ekspluatēt (apskates, bojājumu meklēšana). Būtiska priekšro­cība ir tam apstāklim, ka, nomainot kabeļus, nav jāveic rakšanas darbi. Atkarībā no kabeļu atrašanās vietas rūpnīcas teritorijā kanā­lus izbūvē vai nu vienā līmenī ar apkārtējo virsmu, vai arī iegulda dziļāk. Parasti kabeļu kanālus izbūvē no saliekamiem dzelzsbetona elementiem. Kabeļus, pa kuriem baro pirmās kategorijas elektrouzņēmējus (normālā un avārijas režīmā), rekomendē izvietot atse­višķos kanālos.

**Kabeļu guldīšanas normatīvi** doti2.33…2.43. att.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 2.33. att. Kabeļu guldīšana vienā tranšejā |

|  |  |
| --- | --- |
| 2.34. att. Kabeļu attālums no māju pamatiem | 2.35. att. Kabeļu ievadīšana ēkās |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 2.36. att. Kabeļu attālums no kokiem un krūmiem |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |

2.37. att. Kabeļu attālums no gāzes vadiem, cauruļvadiem un siltumtrasēm

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |

2.38. att. Kabeļu attālums no tramvaja un dzelzceļa sliedēm

|  |  |
| --- | --- |
|  | 2.39. att. Kabeļu attālums no autoceļiem |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |

2.40. att. Kabeļu krustojums zemē (a), kabeļu krustojums ar cauruļvadiem (b un c),

|  |  |
| --- | --- |
| a | b |

2.41. att. Kabeļu krustojums sašaurinājumā (a), Kabeļu krustojums ar siltumtrases cauruli (b)

|  |  |
| --- | --- |
|  | 2.42. att. Kabeļu krustojums ar tramvaja sliedēm |

|  |
| --- |
| 2.43. att. Kabeļu krustojums ar autoceļiem |

Ja ir daudz kabeļu (vairāk par 30), kuriem jāiet pa vienu trasi, tad izbūvē kabeļu tuneļus. Tuneļu izmaksas ir relatīvi lielas, un, ievērojot to, ka tuneļos ir jāparedz speciāli pasākumi iespējamo ugunsgrēku ierobežošanai, tuneļus iesaka izmantot tikai galvenajās maģistrālajās trasēs, piemēram, no GPA līdz lielākajām cehu apakš­stacijām.

Ja ir augsts gruntsūdens līmenis vai arī zemē ir vielas, kuras postoši iedarbojas uz kabeļiem, var izbūvēt virszemes kabeļu līnijas uz speciālām *estakādēm* (2.44. att. *a)* vai arī slēgtās *galerijās* (2.44. att. *b).* Šādās būvēs ir maza kabeļu bojāšanas iespēja, labi dzesē­šanas apstākļi un ievērojami vieglāka kabeļu montāža un eksplua­tācija. Taču šāds kabeļu likšanas veids ir ļoti dārgs un tā lietošana ir ekonomiski izdevīga tikai tad, ja kabeļu ir daudz.

Estakādes var būt izbūvētas speciāli tikai kabeļiem, vai arī ka­beļus var novietot uz vienas estakādes ar tehnoloģiskajiem cauruļ­vadiem. Parasti estakādes ir domātas spēka kabeļiem ar spriegumu līdz 10 kV un šķērsgriezumu līdz 240 mm2. Estakāžu augstums var būt no 0,8 m līdz 6,0 m virs zemes, un parasti tās izbūvē 12, 18 vai 30 kabeļiem. Galerijās kabeļu skaits var būt lielāks (līdz 96).

|  |
| --- |
| ***a b***  2.44. att. Kabeļu likšanas virszemes konstrukcijas: *a* - likšana galerijā, *b —* likšana uz estakādēm;  1 — kabeļi ar spriegumu virs 1000 V, 2— kabeļi ar spriegumu līdz 1000 V, 3 — kontrolkabeļi,  4 — savienotājuzmavas. |

Kabeļu *blokus* (2.45. att.) rūpnīcu elektroapgādē izmanto ļoti reti — galvenokārt tikai tad, ja nevar lietot citu, daudz lētāku kabeļu likšanas veidu. Kabeļu likšana blokos pieļaujama tikai sevišķi bīstamos posmos (šķērsojumi ar dzelzceļiem, lietuvju cehos, sevišķi agresīvās gruntīs), un tos izbūvē no dzelzsbetona paneļiem. Blokos ievieto kabeļus ar pastiprinātu apvalku, bet parasti bez bruņām.

Kontrolkabeļu bez bruņām un spēka kabeļu bez bruņām ar šķērsgriezumu ≤ 16 mm2 likšanai izmanto galvenokārt renēs un kārbās. (2.47. att.).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 2.45. att. Kabeļu bloki: 1 - ķieģeļi, 2 *—* betons, 3 — dzelzsbetona panelis, 4 *—* hidroizolācija, 5 — betona pamatne. | | 2.46. att. Kabeļu kanāls |

|  |
| --- |
|  |

2.47. att. Renēs (*а*) un kārbās (*b*)

**2.5. IZOLĒTI VADI.**

Atkarībā no konstruktīvā izveidojuma izolētus vadus iedala šādi:

1. izolēts vads — strāvu vadošās daļas ieslēgtas izolējošā apvalkā;
2. izolēts aizsargāts vads — virs izolācijas apvalka vēl ir mehāniski izturīgs apvalks;
3. aukla — izolēts lokans vīts vara stiepļu vads, sastāv no vairākām kopā savītām vara dzīslām.

Strāvu vadošās daļas izo­lētiem vadiem izgatavo no vara (2.49 att.) vai alumīnija (2.48. att.). Atkarībā no strāvu vadošās daļas, izolācijas materiāla un vada konstrukcijas vadus ap­zīmē ar burtiem, kuru nozīmes doti firmās katalogos. Iekšējos elektriskos tīklus jeb instalācijas izbūvē arī no kabe­ļiem.

**Tehniskie dati alumīnija vadiem.** Nominālais maiņspriegums ar frekvenci 50 Hz – 450 V, nominālais līdzspriegums – 1000 V, maksimāla dzīslas darba temperatūra – +700C, apkārtējas vides temperatūra – +70/–50 0C, minimālās pieļaujamas uzstādīšanas temperatūras – mīnuss 150C, locījuma rādiuss – ne mazāk par 10 D, pārbaudes spriegums 2000 V ar frekvenci 50 hz ja pirms ta vads 24 h atrodas ūdeņī (2.6. tab.).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

2.48. att. Vads ar alumīnija dzīslu un polivinilhlorīda (PVC) izolāciju ar spriegumu līdz 450 V AC un 1000 V DC: 1 – alumīnija dzīsla; 2 – izolācija no polivinilhlorīda (PVC) plastikāta

**Tehniskie dati vara vadiem.** Nominālais maiņspriegums ar frekvenci 50 Hz – 450 V, nominālais līdzspriegums – 1000 V, maksimāla dzīslas darba temperatūra – +700C, apkārtējas vides temperatūra – +70/–50 0C, minimālās pieļaujamas uzstādīšanas temperatūras – mīnuss 150C, locījuma rādiuss – ne mazāk par 5 D, pārbaudes spriegums 2000 V ar frekvenci 50 hz ja pirms ta vads 24 h atrodas ūdeņī (2.7. tab.).

2.6. tabula

Aluminija vadu tehniskie dati

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Vada marka** | **Dzīslu skaits x nominālais šķērsgriezums, mm2** | **Dzīslu skaits x nominālais stieples diametrs dzislā, mm** | **Izolācijas biezums,**  **mm** | **Vada ārējais diametrs,**  **mm** | **Dzīslu maksimāla elektriskā pretestība (t = 20°C), Ω/km** | **Izolācijas minimāla pretestība**  **(t = 70°C),**  **kΩ·km** | **Pīķa pārbaudes spriegums,**  **kV** |
| APV | 2,5 | 1.78 | 0.8 | 3.38 | 12.1 | 10.0 | 16 |
| 4,0 | 2.26 |  | 3.86 | 7.41 | 9.0 |  |
| 6,0 | 2.76 |  | 4.36 | 5.11 | 7.0 |  |
| 10,0 | 3.57 | 1.0 | 5.57 | 3.08 | 7.0 | 18 |
| 16,0 | 4.40 |  | 6.40 | 1.91 | 5.0 |  |
| 25,0 | 5.55 | 1.2 | 7.95 | 1.20 | 5.0 | 20 |
| 35,0 | 6.50 |  | 8.90 | 0.868 | 4.0 |  |
| 50,0 | 7.55 | 1.4 | 10.35 | 0.641 | 4.5 | 22 |
| 70,0 | 9.0 |  | 11.80 | 0.443 | 4.0 |  |
| APPV | 2x2.5 | 1.78 | 0.8 | 3.38x7.76 | 12.1 | 10.0 | 16 |
| 3x2.5 | 1.78 |  | 3.38x12.14 | 12.1 | 10.0 |  |
| 2x4.0 | 2.26 |  | 3.38x8.72 | 7.41 | 9.0 |  |
| 2x6.0 | 2.76 |  | 4.36x9.72 | 5.11 | 7.0 |  |
| 3x4.0 | 2.76 |  | 3.86x13.53 | 7.41 | 9.0 |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

2.49. att. Vads ar vara dzīslu un polivinilhlorīda (PVC) izolāciju ar spriegumu līdz 450 V AC un

1000 V DC: 1 - vara dzīsla; 2 - izolācija no PVC plastikāta

Visvairāk praksē izmanto PVC vadu/kabeļu NYM-J un NYM-0, kā arī ekranēto PVC vadu (N)YM(St)-J.

Vada strāvu vadošo daļu šķērsgriezumu skala ir šāda (mm2): 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400.

2.7. tabula

**Vara vada tehniskie dati**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Vada tips** | **Dzīslu skaits, nominālais šķērsgriezums, mm2** | **Stiepļu skaits dzīslā un nominālais diametrs, mm** | **Izolācijas biezums, mm** | **Vada ārējais diametrs, mm** | **Vada īpatnēja pretestība**  **(t = 20°C),**  **Ω/km** | **Izolācijas minimālā pretestība**  **(t = 70°C),**  **kΩ·km** | **Pīķa pārbaudes spriegums,**  **кV** |
| PV1,  NYM-0, (N)YM (St)-J | 0,75 | 1x0,98 | 0.6 | 2.18 | 24.5 | 13.0 | 12 |
| 1,00 | 1x1,13 | 2.33 | 18.1 | 11.0 |
| 1,50 | 1x1,38 | 0.7 | 2.78 | 12.1 | 11.0 | 14 |
| 2,50 | 1x1,78 | 0.8 | 3.38 | 7.41 | 10.0 | 16 |
| 4,00 | 1x2,26 | 3.86 | 4.61 | 9.0 |
| 6,00 | 1x2,76 | 4.36 | 3.08 | 7.0 |
| 10,00 | 1x3,57 | 1.0 | 5.57 | 1.83 | 7.0 | 18 |
| 16,00 | 1x4,40 | 6.40 | 1.15 | 5.0 |
| 25,00 | 1x5,55 | 1.2 | 7.95 | 0.727 | 5.0 | 20 |
| PV2, NYM-J | 1,50 | 7x0,54 | 1.7 | 3.02 | 12.1 | 10.0 | 14 |

Par *vada nominālo šķērsgriezumu* sauc noapaļotu vada faktisko šķērsgriezumu.

Alumīnija vadus izgatavo, sākot ar 2,5 mm2 šķērsgriezumu. Vadu marka, raksturojums, nominālais spriegums, dzīslu skaits un šķērs­griezums var atrast katalogos.

Visvairāk praksē izmanto PVH vadu/kabeļu NYM-J un NYM-0, kā arī ekranēto PVH vadu (N)YM(St)-J.

Vada strāvu vadošo daļu šķērsgriezumu skala ir šāda (mm2): 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400.

Par *vada nominālo šķērsgriezumu* sauc noapaļotu vada faktisko šķērsgriezumu.

Alumīnija vadus izgatavo, sākot ar 2,5 mm2 šķērsgriezumu. Vadu marka, raksturojums, nominālais spriegums, dzīslu skaits un šķērs­griezums var atrast katalogos.

**2.6.** **VADU SILŠANA UN ATDZIŠANA**

Ja pa vadu, kura pretestība *R*, plūst strāva *I*, laikā *t* vadā izdalās siltuma daudzums *Q*, ko nosaka pēc Lenca—Džoula formu­las:

*Q = I*2*∙R∙t.* (2.7)

Vada temperatūra pieaug pakāpeniski. Apzīmējam apkārtējās vides temperatūru ar *Ta*, vadītāja temperatūru ar *Tv*. Pastāvot tem­peratūru starpībai *Tv — Ta*, siltuma enerģija tiek atdota arī apkārtē­jai videi. Ja viss siltums, kas izdalās vadā, tiktu patērēts vienīgi vada sasilšanai, vada temperatūra nepārtraukti palielinātos un pie­augtu starpība starp vada un apkārtējās vides temperatūru. Tā kā vienlaikus notiek arī siltuma atdeve apkārtējai videi konvekcijas un starošanas veidā (gaisa siltumvadītspēju neievēro), tad vada tem­peratūra pieaug pēc eksponenciāla likuma un atkarībā no dzesēšanas apstākļiem katrai strāvas vērtībai sasniedz noteiktu konstantu vēr­tību. Ja dotās slodzes apstākļos vads sasilst līdz temperatūrai, kāda vadam ir pieļaujama, tas nozīmē, ka slodze ir pieļaujamās robežās. Vada sasilšanas temperatūra ir atkarīga no strāvas plūšanas ilguma, patērētāja darba režīma, apkārtējās vides temperatūras, vadu novie­tošanas veida; vada materiāla, vadu izolācijas materiāla. Ja siltuma daudzums, kas izdalās vadā, ir vienāds ar siltuma daudzumu, ko vads atdod apkārtējai videi (2.50. att.), iestājas siltuma līdzsvars un vada temperatūra paliek nemainīga.

Strāvu, kurai atbilst maksimālā temperatūra, līdz kādai pieļau­jama vada sasilšana, sauc par vadam pieļaujamo maksimālo strāvu no silšanas viedokļa.

Ja līnija periodiski tiek ieslēgta un atslēgta, vads atslēgšanas brīdī atdziest, bet ne līdz apkārtējās vides temperatūrai. Vada silšanu var attēlot ar lauztu līniju 2 (2.51. att.). Lauzto līniju konstruē, izmantojot līkni 1 un līkni 3. Līkne 1 attēlo vada silšanu apkārtējās vides apstākļos, ja slodze ir konstanta, bet līkne 3 attēlo atdzišanas procesu. No grafika redzams, ka cikliskas slodzes gadījumā vadam pieļaujamā strāva ir lielāka nekā ilgstošas slodzes gadījumā.

|  |  |
| --- | --- |
| 2.50. att. Vadu silšanas līkne. | 2.51. att. Vadu silšanas un atdziša­nas līknes. |

Ja slodze mainās atkārtoti īslaicīgā režīmā, maksimāli pieļau­jamo strāvu *Ip* var aprēķināt šādi:

 (2.8)

kur *Ip* — vadam pieļaujamā strāva, ja slodze ir nemainīga;

*Ia* — aprēķina (aplēses) strāva, kāda pieļaujama vadam, ja slodze ir mainīga; .

*ε* — koeficients, kas parāda attiecību starp darba laiku un cikla laiku.

 (2.9)

kur *tc* — cikla laiks;

*td* — darba laiks;

*t*0 — laiks, kad vadā strāva neplūst.

Formulu var lietot, ja *tc* < 10 min, *td* < 4 min un ja vara vadu šķērsgriezums lielāks par 10 mm2, bet alumīnija vadu — lielāks par 16 mm2. Pārējos gadījumos aprēķins jāizdara tāpat kā ilgstošam režīmam. Aprēķina (aplēse) strāvai *Ia* un darba strāvai *Id* jābūt mazākai par maksimāli pieļaujamo vada strāvu *Ip*, t.i., *Ip ≥ Ia* un *Ip ≥ Id*.

**2.7. KAILVADU SILŠANA UN ATDZIŠANA.**

Siltuma atdeve gaisvadu līnijās notiek galvenokārt kon­vekcijas veidā no vada virsmas, ievērojami mazāk starojuma veida, ļoti maz siltumvadāmības veida.

Kailvadiem gaisvadu līnijās maksimāli pieļaujama temperatūra ir 70 °C. Vadu materiāls iztur augstāku temperatūru, bet augstākā temperatūrā pastiprinās vadu oksidēšanās. Tas ļoti nelabvēlīgi ietekmē vadu savienojumu vietas, jo metāla oksīda elektriska pre­testība ir vairākas reizes lielāka nekā tīra metāla pretestība. Pie­augot savienojuma vietu elektriskajai pretestībai, palielinās siltuma daudzums, kas izdalās savienojuma vietas, un to temperatūra ne­pieļaujami pieaug.

Ja kailvads novietots telpā, temperatūrai pieaugot virs 70 °C, samazinās telpas ugunsdrošība. Sadegot uz vadu virsmas esošajiem putekļiem, izdalās nepatīkama smaka. Tāpēc telpā pieļaujamā tem­peratūra kailvadiem ir 25°C.

Atrisinām formulu, pēc kuras var aprēķināt kailvadu pieļaujamo strāvu *Ip*. Siltuma daudzums, kas izdalās vadā laika vienībā, ja pa vadu plūst strāva *I*:

 (2.10)

Tajā pašā laika vienībā no vada virsmas aizvada siltuma dau­dzumu

 (2.11)

kur *c* — koeficients, kas raksturo siltuma atdevi apkārtējai videi siltuma vadīšanas, starojuma un konvekcijas veidā;

*S* — vada virsmas laukums:

*T* – vada temperatūra, ja strāva vienāda ar *I*.

Kad vads sasilst līdz maksimālajai pieļaujamai temperatūrai *Tp*, iestājas siltuma līdzsvars starp siltuma daudzumu *Q,* kas izdalās vadā laika vienībā, un siltuma daudzumu *Qa*, kuru vads atdod apkārtējai videi laika vienībā. Varam rakstīt vienādojumu

*Q = Qa* jeb *Ip*2*R* = *c∙S∙*(*Tp* - *Ta*), (2.12)

No pēdējā vienādojuma izriet, ka

 (2.13)

Var secināt, ka vada pieļaujamā strāva ir atkarīga no atdzišanas apstākļiem (koeficients *c*)*,* vada virsmas laukuma *S*, vada un apkār­tējās vides temperatūru starpības un vada materiāla.

Praksē tomēr šo formulu nelieto, jo nepieciešams katrā aprēķina gadījumā noteikt koeficientu *c,* kas sarežģī aprēķinu. Apkopojot teo­rētisko aprēķinu rezultātus un praktisko mērījumu datus, dažādām vadu markām un šķērsgriezumiem ir sastādītas tabulas (P.1.3. pieli­kums), pieņemts, ka apkārtējās vides temperatūra ir 25 °C.

Ja apkārtējās vides temperatūra ir *T'a*, vada pieļaujamā tempe­ratūra *T'p* un atdzišanas apstākļi nemainās, tad pieļaujamo strāvu *I'p,* zinot vada pieļaujamo strāvu *Ip* temperatūrā *Tp* un apkārtējās vides temperatūrā *Ta,* var aprēķināt šādi:

 (2.14)

*Ip* atrod no tabulas, ja *Ta*= 25°C un *Tp* = 70°C.

Pieaugot vada diametram *d,* pieļaujamās strāvas blīvums sama­zinās, jo vada šķērsgriezums pieaug tieši proporcionāli *d*2*,* bet dzesē­jošās virsmas laukums — tieši proporcionāli *d.* Tā, piemēram, āra apstākļos vada A-16 pieļaujama strāva ir 105 A, vada A-150 — 440 A; attiecīgi strāvas blīvums *J*16 = 105/16 = 6,57 A/mm2, *J*150 = 440/150 = 2,93 A/mm2.

Tātad no dzesēšanas viedokļa viena vada vietā izdevīgāk lietot vairākus vadus ar mazāku diametru.

**2.8. IZOLĒTU VADU UN KABEĻU IZVĒLE PĒC SILŠANAS**

Silšanas process izolētiem vadiem un kabeļiem ir tāds pats kā kailvadiem. Atšķiras vienīgi atdzišanas process, jo izolācija maina siltuma pretestību. Izolēto vadu siltumatdeve ir mazāka salīdzinot ar kailvadiem. Pieļaujamā sasilšanas temperatūra ir at­karīga no vada vai kabeļa izolācijas pieļaujamās sasilšanas temperatūras. Izolētiem vadiem un kabeļiem ar gumijas un polivinilhlorīda izolāciju pieļaujamā sasilšanas temperatūra ir 65 °C. Tā 10 kV kabeļiem *T*max = 60°C un vides temperatūra ir zemes temperatūra 10°C. Gumijas-polietilēna izolācija atšķiras no gumijas-plastmasas izolācijas.

Kabeļiem ar papīra izolāciju pieļaujamā sasilšanas temperatūra ir atkarīga no kabeļu darba sprieguma (2.52. att.), bet zemsprieguma un vidēja sprieguma kabeļiem ar izolāciju no šūtā polietilēna (SPE) maksimāla darba temperatūra sastāda 900C.

Kabelim sasilstot un atdziestot, tā atsevišķās daļas (apvalks, izolācija, iesūcinātā masa) izplešas un saraujas dažādi, jo atšķiras to termiskās izplešanās koeficienti. Atsevišķās kabeļa daļas temperatūras izmaiņas ietekmē var deformēties, un kabelī var rasties gāzes pūslīši. Augsta sprieguma ietekmē gāze jonizējas, kas savukārt izraisa kabeļa caursišanu. Tāpēc augstāka sprieguma kabeļiem pieļaujamā sasilšanas temperatūra ir zemāka nekā zemāka sprie­guma kabeļiem.

|  |
| --- |
| 2.52. att. Kabeļu maksimāli pielaižama stacionāra temperatūra: 1- kabelis ar izolāciju no šūtā polietilēna,  2 – kabelis ar papīra izolāciju. |

Pieļaujamās slodzes strāvas dažādām vadu un kabeļu markām, kā arī dažādiem montāžas veidiem sakopotas tabulās. Koriģējošie koeficienti gaisā instalētiem kabeļiem un vadiem atkarība no likšanas apstākļiem un ja apkārtējās vides gada vidējā temperatūra atšķiras no 25°C sakopotas tabulās.

Ja kabeļus novieto tranšejā, pieļaujamā slodze ir atkarīga no grunts stāvokļa, kabeļu skaita, to savstarpējā attāluma. Tabulas uzrāda pieļaujamo slodzes strāvu *Ip*, pieņemot, ka tranšejā novietots viens kabelis 0,7...1 m dziļumā un zemes temperatūra ir 15 °C. Ja kabeļus novieto sausās smilšainās vai akmeņainās gruntīs, to pieļaujamā slodze ir ievērojami mazāka, un to nosaka eksperimentāli vai arī aprēķina speciāli. Ja tranšejā blakus novieto vairākus kabe­ļus, siltuma atdeve pasliktinās, jo kabeļi cits citu sasilda. Tāpēc slodze, kas paredzēta vienam kabelim, jāreizina ar koeficientu, kas atkarīgs no kabeļu skaita.

Visas elektrisko tīklu strāvu vadošās daļas jāpārbauda pēc pie­ļaujamās sasilšanas temperatūras. Aprēķini jāizdara ne tikai normā­liem darba apstākļiem, bet arī avārijas un remonta gadījumiem. Pār­baude jāizdara pusstundas maksimumam, kas ir dotā tīkla elementa maksimālā (aplēses) pusstundas slodze *Pa* un *Qa* no vidējām pusstundu slodzēm.

Par šķērsgriezuma izvēles pamatlielumu ir jāpieņem aplēsēs strā­vās *Ia* vērtība. Jebkurā gadījumā jāizpildās no­sacījumam:

 (2.15)

kur *kp* – pārslodzes koeficients pēcavārijas režīmā vai remonta darba laikā; *k*1 — koeficients, kas atkarīgs no apkārtējas vides temperatūras; *k*2 — koeficients, kas atkarīgs no kabeļu skaita tranšejā; *k*3 — koeficients, kas raksturo zemes īpatnējo siltuma pretestību.

Ja kabeli novieto zemē caurule, caurules garums pārsniedz 10 m un nelieto mākslīgo ventilāciju, kabeļa pieļaujamā slodzes strāva jāaprēķina gaisā novietotu kabeļu ilgstoši pieļaujamās slodzes strāvas. Faktiskā temperatūra caurule ir vienāda ar zemes temperatūru, tāpēc aprēķina formula ir šāda:

 (2.16)

kur *Ikp* — kabeļa pieļaujamā slodzes strāva, ja tas novietots gaisā; *Tkp* — kabeļa dzīslas pieļaujamā temperatūra; *Tz* — aprēķinātā zemes temperatūra kabeļa ierakšanas dziļumā (ja nav citu datu, *Tz*= 15°C).

10 kV un zemāka sprieguma kabeļiem ar piesūcināta papīra izo­lāciju pieļauj līdz 30 % pārslodzi, ja normāli slodze nepārsniedz 80 % pieļaujamās slodzes. Kabeļiem ar polieti­lēna izolāciju ir pieļaujama pārslodze līdz 10% (*kp* = 1,1), bet kabeļiem ar polivinilhlorīda izolāciju — līdz 15% (*kp* = 1,15) no normālās slodzes. Tāda pārslodze pieļaujama avārijas režīmā, bet ne ilgāk kā 6 stundas piecu diennakšu laikā.

**2.9. Vada šķērsgriezuma izvēle**

**2.9.1. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc sprieguma zuduma.**

Sprieguma zudumu aprēķināsim kā līnijas sprieguma zudumu:

 (2.17)

Turpmāk aprēķinos lietosim līnijas sprieguma zuduma vērtību, neuzrādot indeksu *l* pie Δ*U*, līnijas induktīvo pretestību apzīmēsim *XL = X*.

**Vienfāzes zemsprieguma tīkls** (2.53. att.). Elektroenerģiju pārvada pa 2 vadiem (katra vada garums ir *l*). Zemsprieguma tīklos induktīvo pretestību aprēķinos parasti neievēro.

Abu vadu pretestību aprēķina pēc pazīstamās formulas:

 . (2.18)

|  |
| --- |
|  |

2.53. att.

Pārvadot enerģiju, sprieguma krituma dēļ vados spriegums *U*1 elektriskā tīkla posma sākumā ir lielāks par spriegumu *U*2 posma beigās. Starpību starp spriegumiem *U*1 un *U*2 sauc par sprieguma zudumu (apzīmējums Δ*U*). Tātad

Δ*U* = *U*1 – *U*2. (2.19)

kur *U*2 – barošanas avota nominālais spriegums, *U*1 – elektropatērētāja nominālais spriegums.

Saskaņā ar Oma likumu šis lielums ir

Δ*U = I·R*, (2.20)

Vai izmantojot formulu (2.18):

 (2.21)

Aprēķinot zudumus, spriegumi ļoti bieži ir doti un, zinot tos, izrēķinām vada šķērsgriezumu. Saskaņā ar (2.21) šķērsgriezums ir

 (2.22)

Strāvu vados aprēķina pēc izteiksmes

 (2.23)

Sprieguma zudumu vados izsaka procentos no patērētāja no­minālā sprieguma *U*2:

 (2.24)

Vienfāzes tīklā, ja slodzes atrodas līnijas beigas, vada šķērsgriezumu aprēķina pēc formulas

 (2.25)

Ja vienfāzes slodzes sadalītās visas līnijas garumā

 (2.26)

**Trīsfāžu zemsprieguma tīkls.** Trīsfāžu zemsprieguma tīklos, ja slodze atrodas līnijas beigas, vada šķērsgriezumu aprēķina pēc formulas

 (2.27)

kur  - patērētāja nominālais līnijas spriegums; - patērētāja nominālais fāzes spriegums.

Ja trīsfāžu slodzes sadalītās visas līnijas garumā

 (2.28)

**2.9.2. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc ilgstoši pieļau­jamās slodzes.** Vadu un kabeļu šķērsgriezumus izvēlas pēc aprēķina (aplēses) strāvas un pārbauda, vai izraudzīto vadu pret silšanu aizsargā aizsardzības aparatūra. Lai noteikums būtu ievē­rots, jābūt spēkā nevienādībai

 (2.29)

kur *Ip* — vada vai kabeļa pieļaujamā strāva (nosaka no tabulām);

*Ia* — aprēķina (aplēses) strāva;

*K* — koeficients, kuru izvēlas atkarībā no vides maksimālās temperatūras.

Ēkās un telpās, kur jābūt sevišķi drošai tīkla darbībai vai arī kur uzturas nekvalificēts apkalpošanas personāls, tīkli jāaizsargā arī pret iespējamām pārslodzēm.

Visās telpās pret pārslodzi jāaizsargā apgaismošanas tīkli, kas izveidoti no atklāti instalētiem neaizsargātiem izolētiem vadiem de­gošā apvalkā. Neatkarīgi no instalācijas veida apgaismošanas tīkli pret pārslodzi obligāti jāaizsargā dzīvojamās un sabiedriskās ēkās, tirdzniecības telpās, sadzīves pakalpojumu telpās, rūpniecības uz­ņēmumos, ugunsnedrošās telpās. Neatkarīgi no instalācijas veida ap­gaismošanas tīkli pret pārslodzi jāaizsargā arī sprādzienbīstamās telpās un sprādzienbīstamās āra iekārtās.

Vadu un kabeļa šķērsgriezumi jāizvēlas tā, lai to ilgstoši pieļau­jamās slodzes attiecība pret aizsardzības aparātu nominālo strāvu nebūtu lielāka par 2.8. tabulā uzrādītajiem lielumiem.

2.8. tabula

**Aizsardzības koeficienta *Kaizs* vērtības (vadu un kabeļu ilgstoši pieļaujamās**

**strāvas *Ip* un aizsardzības aparātu nominālās strāvas *IN* normētās attiecības)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Instalācijas veids | Telpu raksturojums | Normētā attiecība *Ip /IN* | | | |
| aizsardzība ar kūstošiem drošinātājiem | aizsardzība ar automātiem, kuriem ir termoatslēdze un apgriezti proporcionāla strāvas un laika kavējuma sakarība | | Aizsardzība ar automātiskiem slēdžiem, kuriem ir maksimālā momentānas darbības atslēdze |
| neregu­lējama  atslēdze | regulējama atslēdze |
| **Pret īsslēguma strāvām aizsargājamie tīkli** | | | | | |
| Visa veida instalā­cijas | Visas telpas | ≥ 0,33 | ≥ l,0 | ≥ 0,66 | ≥ 0,22 |
| **Pret pārslodzi aizsargājamie tīkli** | | | | | |
| Atklāti instalēti, neaizsargāti izolēti vadi ar degošu apvalku | Sprādziendrošās ražo­šanas telpas |  |  | ≥ l,0 |  |
| Pārējās telpas | ≥ l,25 | ≥ l,0 | ≥ l,0 | ≥ 1,25 |
| Aizsargāti vadi, gumijas un plastmasas izolācijas kabeļi, vadi cau­rulēs | Ugunsnedrošas ražo­šanas telpas |  |  | ≥ l,0 |  |
| Rūpniecības uzņēmu­mi, tirdzniecības, sa­dzīves pakalpojumu, sabiedriskās, dzīvojamās ēkas, sprādziennedrošas iekār­tas | ≥ l,25 | ≥ l,0 | ≥ l,0 | ≥ l,25 |

**2.9.3. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc termiskās izturības īs­slēguma gadījumos**. Tīklos ar spriegumu virs 1000 V ir jāpārbauda tikai kabeļu termiskā izturība. Gaisvadu līniju vadi nav jāpārbauda. Tāpat var nepārbaudīt termisko izturību tiem kabeļiem, kas aizsar­gāti ar drošinātājiem, kā arī tad, ja kabeļi baro atsevišķus elektrouzņēmējus un ir paredzēta rezervēšana un tad, ja kabeļu bojāšanās (termiskā) nevar izraisīt sprādzienu vai ugunsgrēku. Pie atsevišķiem elektrouzņēmējiem var pieskaitīt arī cehu transformatorus ar jaudu līdz 2,5 MV·Α un augstāko spriegumu līdz 20 kV.

Termiski izturīgu kabeļa šķērsgriezumu aprēķina pēc formulas

 (2.30)

kur *Bk* – īsslēguma strāvas siltuma impulss, A2·s;

*C* – aprēķina koeficients, kas atkarīgs no vadītāja un izolācijas materiāla sasiluma.

Īsslēguma strāvas siltuma impulsu aprēķina pēc izteiksmes

 (2.31)

kur *I∞* - īsslēguma strāvas periodiskas komponentes vērtība;

*tc* - caur kabeli plūstošas īsslēguma strāvas ilgums;

*Ta* – īsslēguma strāvas aperiodiskās komponentes rimšanas laika konstante

 (2.32)

*R*Σ, *X*Σ – summāra aktīvā un reaktīvā pretestība līdz īsslēguma punktam;

*ω* – leņķiskā frekvence; *ω* = 2π*f* = 314 rad/s.

Sadales tīklos 6-10 kV, ja nav konkrētus datus, var pieņemt *Ta* = 0,01 s, bet *tc* no 2.9. tabulas

2.9. tabula

**Īsslēguma strāvas laiks**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tīkla posms** | **Aizsardzības pakāpes tīkla shēmā** | **Īsslēguma iedarbības laiks, *tc*, s** |
| GPA – CSP | 3 | 2,6 |
| GPA – SP | 2 | 1,6 (1,1) |
| CSP – SP | 2 | 1,6 (1,1) |
| SP – TA | 2 – 3 | 0,6 |
| GPA – TA | 2 – 3 | 0,6 |

**2.9.4. Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc mehāniskās izturības.** Saskaņā ar elektroietaišu izbūves noteikumiem (EIN) vadu un kabeļu minimālie šķērsgriezumi jāizvēlas ne mazāki par 2.10. tabulā uzrādītajiem lielumiem.

2.10. tabula

**Vadu un kabeļu strāvu vadošo dzīslu minimālie šķērsgriezumi**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Vadi un kabeli** | **Minimālie dzīslu šķērsgriezumi (mm2)** | |
| **vara** | **alumīnija** |
| Auklas sadzīves elektroenerģijas patērētāju pievienošanai | 0,35 | ‒ |
| Kabeļi pārvietojamu un pārnesamu patērētāju pievienošanai rūpniecības ietaisēs | 0,75 | ‒ |
| Divdzīslu vītie vadi instalēšanai uz rullīšiem | 1 | ‒ |
| Neaizsargāti izolēti vadi stacionārai instalācijai telpu iekšpusē: |  |  |
| a) tieši uz pamata, uz rullīšiem, ar saturplāksnēm un trosēm | 1 | 2,5 |
| b) renēs, kārbās (izņemot slēgtās): |  |  |
| ar dzīslām, ko pievieno ar skrūvēm | 1 | 2,0 |
| ar dzīslām, ko pievieno lodējot: |  |  |
| —viendzīslas | 0,5 | ‒ |
| — daudzdzīslu (lokanās) | 0,35 | ‒ |
| c) uz izolatoriem | 1,5 | 4 |
| Neaizsargāti izolēti vadi ārējai instalācijai: |  |  |
| a) pa sienām, konstrukcijām vai balstiem uz izolatoriem; ēku ievados | 2,5 | 4 |
| b) zem jumta uz rullīšiem | 1,5 | 2,5 |
| Neaizsargāti un aizsargāti vadi un kabeļi, kas ievietoti tērauda vai lokanās metāla caurulēs, slēgtās kārbās | 1 | 2,0 |
| Kabeļi un aizsargāti izolēti vadi, kas montēti stacionāri (bez caurulēm, lokanām caurulēm un slēgtām kārbām): |  |  |
| ar dzīslām, ko pievieno ar skrūvi | 1 | 2,0 |
| ar dzīslām, ko pievieno lodējot: |  |  |
| —viendzīslas | 0,5 | ‒ |
| —daudzdzīslu (lokanie) | 0,35 | ‒ |
| Aizsargāti un neaizsargāti vadi un kabeļi slēgtos kanālos vai celtniecības konstrukcijās, zem apmetuma | 1 | 2,0 |

Pēc pieļaujamās silšanas izvēlēta vada šķērsgriezuma derī­gumu pārbauda, aprēķinot vada šķērsgriezumu arī pēc pieļaujamā sprieguma zuduma un pēc termiskās izturības īs­slēguma gadījumos. No četriem aprēķinātiem šķērsgriezumiem (sprieguma zudums, silšana, mehāniskā izturība un termiskā izturība) jāpieņem vislielāko.

Izvēlas vada standartšķērsgriezumu un aprēķina faktisko sprieguma zudumu

vienfāzes līnijai ar slodzi līnijas beigas

 (2.33)

vienfāzes līnijai ar vairākām slodzēm

 (2.34)

trīsfāzu līnijai ar slodzi līnijas beigas

 (2.35)

trīsfāzu līnijai ar vairākām slodzēm

 (2.36)

augstsprieguma trīsfāžu līnijai

 (2.37)

**2.9.5.** **Vadītāju šķērsgriezuma izvēle pēc pārslodzes.** Pēc tam izvēlas kūstošā drošinātāja ieliktņa nominālo strāvu *Idr* vai automātslēdža termoatkabņa iestatījuma strāvu In atbilstoši patērētāja raksturam.

Beidzot vēl jāpārbauda pēc izteiksmes:

*Ip ≥ KaizsIdr*, *Ip ≥ KaizsIn*, (2.38)

vai izvēlētais drošinātāja ieliktnis (*Idr*), vai automāta termoatkabnis (*In*) aizsargā vadu ar izvēlēto šķērsgriezumu (*Ip*), kur *K*aizs —aizsardzības atbilstības koeficients (2.8. tab.).

Ja šis noteikums netiek izpildīts, tad, jāizvēlas tuvākā lielākā normētā šķērsgriezuma vads.

**Lai atvieglotu aprēķinus, rūpniecības ietaisēs atļauts aizsardzības elementa aizsargāšanas spēju pārbaudīt, izmantojot ilgstoši pieļaujamo strāvu, pēc sekojoša noteikuma:**

*Ip* ≥ *Kaizs*∙*IN*, (2.39)

kur *Kaizs* – aizsardzības koeficients, kuru nosaka no 2.8. tabulas.

Nominālo strāvu šajā gadījumā var izvēlēt no nominālo strāvu skalas (A): 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3200; 4000; 5000; 6300; 8000; 10 000.

Vadu un kabeļu šķērsgriezumus pēc silšanas izvēlas no tabu­lām atbilstoši aprēķinātajai (aplēses) strāvai *Ia* vai darba strāvai *Id* tā, lai

*Ipieļ ≥ Ia*, *Ipieļ ≥ Id*. (2.40)

Piemēram, ja darba strāvai *Id* = 24 A jāizvēlas divu caurulē ievietojamu viendzīslas alumīnija vadu šķērsgriezums *F*, tad no 2.12. tabulas dabū, ka *F* = 4 mm2, kam ilgstoši pieļaujamā strāva *Ipieļ* = 28 A > *Id* = 24 A.

**2.1. piemērs.** Uzņēmuma kopēja apgaismošanas jauda sastāda P = 4,4 kW. Apakšstacijas transformatora spaiļu spriegums ir *U*1 = 230 V. Attālums no apakšstacijas līdz telpai, kur atrodas spuldzes, ir *l* = 50 m (2.53. att.).

Aprēķināt vara divdzīslu vadu šķērsgriezumu, kas nodrošina spuldzēm spriegumu ne mazāku par 220 V. Vadi instalēti caurulē un izvietoti gaisā.

*Risinājums.*

1. Pieļaujamais sprieguma zudums

Δ*U* = *U*1 – *U*2 = 230 – 220 = 10 V.

2. Nominālā slodzes strāva vados



3. Ievērojot, ka gaisvadu līnijai izmanto vara vadus (*γ* = 54 MS/m = 54 m/Ω·mm2), aprēķinām nepieciešamo šķērsgriezumu



Tuvākais standartizētais šķērsgriezums *Ffakt* = 4 mm2 (2.11. tab.).

4. Pārbaudām silšanu vadam ar izvēlēto šķērsgriezumu *Ffakt* = 4 mm2. Pēc 2.11. tabulas pieļaujamā slodzes strāva vadam ir *Ipieļ* = 32 A. Slodzes strāva vados ir mazāka par pieļaujamo strāvu (*I* = 20 A < *Ipieļ* = 32 A).

5. Faktiskais sprieguma zudums



6. Sprieguma zudums procentos



kas ir lielāks par pieļaujamo sprieguma novirzi uz spul­džu spailēm — no -2,5% līdz +5%. Tuvākais standartizētais šķērsgriezums, kas atbilst standarta prasībām ir *F* = 10 mm2 ar *Ipieļ* = 55 A, Δ*U* = 3,7 V un Δ*U*% = 1,6 %.

7. Izvēlētajam šķērsgriezumam vēl jāpārbauda mehāniskā izturība.

No mehāniskās izturības viedokļa vara vadiem instalētiem caurules, kanālos šķērsgriezums nedrīkst būt mazāks par 1 mm2 (2.10. tabula).

2.11. tabula

**Vara vadi ar gumijas vai polivinilhlorīda izolāciju un auklas ar gumijas izolāciju**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Dzīslu**  **šķērs­griezums,**  **mm2** | **Ilgstoši pieļaujamā strāva (A), ja apkārtējās vides temperatūra 25 0C** | | | | | | | |
| **atklāti**  **instalēti vadi** | **vienā caurulē instalēti vadi** | | | | | | |
| **divi viendzīslas**  **vadi** | **trīs viendzīslas**  **vadi** | **četri viendzīslas vadi** | **viens divdzīslu**  **vads** | | **viens trīsdzīslu**  **vads** | |
| **gaisā** | **zemē** | **gaisā** | **zemē** |
| **0,5** | 11 | — | — | — | — | — | — | — |
| ***0,75*** | *15* | *—* | *—* | *—* | *—* | *—* | *—* | *—* |
| **1,0** | 17 | 16 | 15 | 14 | 15 | — | 14 | — |
| ***1,2*** | *20* | *18* | *16* | *15* | *16* |  | *14,5* |  |
| **1,5** | 23 | 19 | 17 | 16 | 18 | 33 | 15 | 27 |
| **2,0** | 26 | 24 | 22 | 20 | 23 | 44 | 19 |  |
| **2,5** | 30 | 27 | 25 | 25 | 25 |  | 21 | 38 |
| ***3,0*** | *34* | *32* | *28* | *26* | *28* |  | *24* |  |
| **4,0** | 41 | 38 | 35 | 30 | 32 | 55 | 27 | 49 |
| ***5,0*** | *46* | *42* | *39* | *34* | *37* |  | *31* |  |
| **6,0** | 50 | 46 | 42 | 40 | 40 | 70 | 34 | 60 |
| ***8,0*** | *62* | *54* | *51* | *46* | *48* |  | *43* |  |
| **10** | 80 | 70 | 60 | 50 | 55 | 105 | 50 | 90 |
| **16** | 100 | 85 | 80 | 75 | 80 | 135 | 70 | 115 |
| **25** | 140 | 115 | 100 | 90 | 100 | 175 | 85 | 150 |
| **35** | 170 | 135 | 125 | 115 | 125 | 210 | 100 | 180 |
| **50** | 215 | 185 | 170 | 150 | 160 | 265 | 135 | 225 |
| **70** | 270 | 225 | 210 | 185 | 195 | 320 | 175 | 275 |
| **95** | 330 | 275 | 255 | 225 | 245 | 385 | 215 | 330 |
| **120** | 385 | 315 | 290 | 260 | 295 | 445 | 250 | 385 |
| **150** | 440 | 360 | 330 | — | — | 505 | — | 435 |
| **185** | 510 | — | — | — | — | 570 | — | 500 |
| **240** | 605 | — | — | — | — | — | — | — |
| **300** | 695 | — | — | — | — | — | — | — |
| **400** | 830 | — | — | — | — | — | — | — |

8. Vadu un kabeļa šķērsgriezumi jāizvēlas tā, lai to ilgstoši pieļau­jamās slodzes attiecība pret aizsardzības aparātu nominālo strāvu nebūtu lielāka par 2.8. tabulā uzrādītajiem lielumiem.

Lai atvieglotu aprēķinus, rūpniecības ietaisēs atļauts aizsardzības elementa aizsargāšanas spēju pārbaudīt, izmantojot ilgstoši pieļaujamo strāvu, pēc noteikuma *Ip* ≥ *Kaizs*∙*IN*, kur *Kaizs* – aizsardzības koeficients, kuru nosaka no 2.8. tabulas.

Ja tīklu aizsarga ar drošinātājiem, tad *Ip* = 55 A ≥ *Kaizs*∙*IN* = 1,25·20 = 25 A un tīkls aizsargāts pret ilgstošo pārslodzi.

**2.2. piemērs.** Aprēķināt kabeļa dzīslas šķērsgriezumu 2.1. piemēra, ja vara vada vietā izmanto alumīnija vadu. (γ = 32MS/m = 32 m/Ω·mm2).

1. Pieļaujamais sprieguma zudums

Δ*U* = *U*1 – *U*2 = 230 – 220 = 10 V.

2. Nominālā slodzes strāva vados



3. Ievērojot, ka gaisvadu līnijai izmanto alumīnija vadus (γ = 32 m/Ω·mm2), aprēķinām nepieciešamo šķērsgriezumu



Tuvākais standartizētais šķērsgriezums *Ffakt* = 10 mm2 (2.12. tab.).

2.12. tabula

**Alumīnija vadi ar gumijas vai polivinilhlorīda izolāciju**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Dzīslas šķērs­griezums (mm2)** | **Ilgstoši pieļaujamā strāva (A), ja apkārtējās vides temperatūra 25 °C** | | | | | |
| **atklāti**  **insta­lēti**  **vadi** | **vienā caurule instalēti vadi** | | | | |
| **divi**  **viendzīslas vadi** | **trīs**  **viendzīslas vadi** | **četri**  **viendzīslas vadi** | **viens**  **divdzīslu vads** | **viens**  **trīsdzīslu vads** |
| 2,0 | 21 | 19 | 18 | 15 | 17 | 14 |
| 2,5 | 24 | 20 | 19 | 19 | 19 | 16 |
| *3,0* | *27* | *24* | *22* | *21* | *22* | *18* |
| 4,0 | 32 | 28 | 28 | 23 | 25 | 21 |
| *5,0* | *36* | *32* | *30* | *27* | *28* | *24* |
| 6,0 | 39 | 36 | 32 | 30 | 31 | 26 |
| *8,0* | *46* | *43* | *40* | *37* | *38* | *32* |
| 10 | 60 | 50 | 47 | 39 | 42 | 38 |
| 16 | 75 | 60 | 60 | 55 | 60 | 55 |
| 25 | 105 | 85 | 80 | 70 | 75 | 65 |
| 35 | 130 | 100 | 95 | 85 | 95 | 75 |
| 50 | 165 | 140 | 130 | 120 | 125 | 105 |
| 70 | 210 | 175 | 165 | 140 | 150 | 135 |
| 95 | 255 | 215 | 200 | 175 | 190 | 165 |
| 120 | 295 | 245 | 220 | 200 | 230 | 190 |
| 150 | 340 | 275 | 255 | — | — | — |
| 185 | 390 | — | — | — | — | — |
| 240 | 465 | — | — | — | — | — |
| 300 | 535 | — | — | — | — | — |
| 400 | 645 | — | — | — | — | — |

4. Pārbaudām silšanu vadam ar izvēlēto šķērsgriezumu *Ffakt* = 10 mm2. Pēc 2.12. tabulas pieļaujamā slodzes strāva vadam ir *Ipieļ* = 42 A. Slodzes strāva vados ir mazāka par pieļaujamo strāvu (*I* = 20 A < *Ipieļ* = 42 A).

5. Faktiskais sprieguma zudums



6. Sprieguma zudums procentos



kas ir lielāks par pieļaujamo sprieguma novirzi uz spul­džu spailēm — no -2,5% līdz +5%. Tuvākais standartizētais šķērsgriezums, kas atbilst standarta prasībām ir *F* = 16 mm2 ar *Ipieļ* = 60 A, Δ*U* = 3,9 V un Δ*U*% = 1,7 %.

7. Izvēlētajam šķērsgriezumam vēl jāpārbauda mehāniskā izturība.

No mehāniskās izturības viedokļa vara vadiem instalētiem caurules, kanālos šķērsgriezums nedrīkst būt mazāks par 2,5 mm2 (2.10. tabula).

8. Vadu un kabeļa šķērsgriezumi jāizvēlas tā, lai to ilgstoši pieļau­jamās slodzes attiecība pret aizsardzības aparātu nominālo strāvu nebūtu lielāka par 2.8. tabulā uzrādītajiem lielumiem.

Aizsardzības elementa (drošinātāja) aizsargāšanas spēju pārbauda pēc noteikuma *Ip =*60 A≥ *Kaizs*∙*IN* = 1,25·20 = 25 A un tīkls aizsargāts pret ilgstošo pārslodzi.

**2.3. piemērs**. Prožektoru iekārta ar trim prožektoriem apgaismo būvlaukumu. Iekārtu baro no trīsfāzu ievada pa 85 m garu divdzīslu vara kabeli (2.54. att.).

Aprēķināt kabeļa dzīslas šķērsgriezumu, ja katra prožektora jauda ir 1 kW ar spriegumu 220 V. Pieļaujamais sprieguma zu­dums ir 2,5%.

|  |
| --- |
|  |

2.54. att.

Atrisinājums. Kabeļa dzīslas šķērsgriezumu at­rod atbilstoši pieļaujamam sprieguma zudumam un ievēro­jot pieļaujamo silšanu. No abiem šķērsgriezumiem izvēlas lielāko.

Aprēķinam pēc pieļaujamā sprieguma zuduma vados jāatrod šī zuduma vērtība:



Aprēķinām šim sprieguma zudumam atbilstošo divdzīslu kabeļa dzīslas šķērsgriezumu:



Lai izvēlētos kabeli atbilstoši pieļaujamai silšanai, jā­aprēķina iekārtas nominālo strāvu:



No 2.13. tabulas izvēlamies kabeli ar 1,5 mm2 dzīs­las šķērsgriezumu, kam pieļaujamā strāva ir 19 A.

No abiem šķērsgriezumiem izvēlamies lielāko (S = 7,8 mm2), kam atbilst dzīslas normētais šķērsgriezums 10 mm2 ar pieļaujamo strāvu 70 A (2.13. tabula).

Izvēlētajam šķērsgriezumam vēl jāpārbauda mehāniskā izturība.

No mehāniskās izturības viedokļa pārvietojamām elek­troiekārtām šķērsgriezums nedrīkst būt mazāks par 2,5 mm2 (2.10. tabula).

**2.4. piemērs**. Aprēķināt kabeļa dzīslas šķērsgriezumu 2.3. piemēra prožek­toru iekārtai, kura atrodas 25 m attālumā no barošanas punkta.

Atrisinājums. Atbilstoši dotajai sprieguma zu­duma vērtībai kabeļa dzīslas šķērsgriezums



Izvēloties kabeļa dzīslas šķērsgriezumu atbilstoši pie­ļaujamai silšanai, no 2.13. tabulas atrodam strāvai *IN* = 13,6 Α lietojamo šķērsgriezumu 1,5 mm2, kuram *Ipieļ* = 19 A.

No mehāniskās izturības viedokļa kabeļa dzīslas mi­nimālais šķērsgriezums ir 2,5 mm2 (2.10. tabula). No trim iegūtajiem šķērsgriezumiem izvēlamies lielāko (*F* = 2,5 mm2) ar pieļaujamo strāvu *Ipieļ* = 27 A.

**2.5. piemērs.** Metalurģiskās rūpnīcas ceha portālceltņa pie­dziņai uzstādīts līdzstrāvas dzinējs ar šādiem pa­ses datiem: *PN* = 66 kW, *UN*= 440 V, cos*φ* = 0,872, *nN* = 500 apgr./min. Dzinējs darbojas atkārtoti īslaicīgā darba režīmā. Darba perioda ilgums ir *td* = 2,4 min, cikla ilgums *tc* = 6 min.

2.13. tabula

**Vadi ar gumijas izolāciju metāla apvalkā, bruņoti un nebruņoti kabeļi ar vara dzīslām un gumijas izolāciju svina, polivinilhlorīda vai nedegošas gumijas apvalkā**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Dzīslas**  **šķērs­griezums,**  **mm2** | **Ilgstoši pieļaujamā strāva (A),**  **ja apkārtējās vides temperatūra 25 0C** | | | | |
| **vadi un kabeļi** | | | | |
| **viendzīslas** | **divdzīslu** | | **trīsdzīslu** | |
| **gaisā** | **gaisā** | **zemē** | **gaisā** | **zemē** |
| 1,5  2,5  4  6 | 23  30  41  50 | 19  27  38  50 | 33  44  55  70 | 19  25  35  42 | 27  38  49  60 |
| 2.13. tabulas turpinājums | | | | | | |
| **Dzīslas**  **šķērs­griezums,**  **mm2** | **Ilgstoši pieļaujamā strāva (A), ja**  **apkārtējās vides temperatūra 25 0C** | | | | |
| **vadi un kabeļi** | | | | |
| **viendzīslas** | **divdzīslu** | | **trīsdzīslu** | |
| **gaisā** | **gaisā** | **zemē** | **gaisā** | **zemē** |
| 10 | 80 | 70 | 105 | 55 | 90 | |
| 16 | 100 | 90 | 135 | 75 | 115 | |
| 25 | 140 | 115 | 175 | 95 | 150 | |
| 35 | 170 | 140 | 210 | 120 | 180 | |
| 50 | 215 | 175 | 265 | 145 | 225 | |
| 70 | 270 | 215 | 320 | 180 | 275 | |
| 95 | 325 | 260 | 385 | 220 | 330 | |
| 120 | 385 | 300 | 445 | 260 | 385 | |
| 150 | 440 | 350 | 505 | 305 | 435 | |
| 185 | 510 | 405 | 570 | 350 | 500 | |
| 240 | 605 | — | — | — | — | |

Aprēķināt barojošā kabeļa ar alumīnija dzīslām un polihlorvinila izolāciju šķērsgriezumu.

Atrisinājums.

1. Līdzstrāvas dzinēja nominālā strāva:



2. Elektroiekārtu atkārtoti īslaicīgam, īslaicīgam un līdzīgiem darba režīmiem ar cikla ilgumu 10 min un ar darba perioda ilgumu ne vairāk kā 4 min kabeļa dzīslas šķērsgriezuma izvēlei no silšanas vie­dokļa par slodzes aprēķina strāvu pieņem uz ilgstošo režīmu attiecināto aprēķina strāvas slodzi *Ia.*

Vara vadiem ar šķērsgriezumu virs 10 mm2 un alumī­nija vadiem ar šķērsgriezumu virs 16 mm2 slodzes aprē­ķina strāvu *Ia* atrod, nominālo strāvu *IN* reizinot ar koefi­cientu , kur *ε* — relatīvās vienībās izteikts darba perioda ilgums (relatīvais ieslēgšanas ilgums).

Aprēķinām relatīvo ieslēgšanas ilgumu *ε:*



Atrodam kabeļa dzīslas slodzes aprēķina strāvu, kas attiecināta uz ilgstošo režīmu, pieņemot *IN* =172 A:



2.14.tabula

**Bruņoti un nebruņoti kabeļi ar alumīnija dzīslām un gumijas izolāciju**

**polivinilhlorīda un nedegošas gumijas apvalkos**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Dzīslas**  **šķērsgriezums,**  **mm2** | **Ilgstoši pieļaujamā strāva (A), ja apkārtējas vides temperatūra 25 °C** | | | | |
| **vadi un kabeli** | | | | |
| **viendzīslas**  **gaisā** | **divdzīslu** | | **trīsdzīslu** | |
| **gaisā** | **zemē** | **gaisā** | **zemē** |
| 2,5 | 23 | 21 | 34 | 19 | 29 |
| 4 | 31 | 29 | 42 | 27 | 38 |
| 6 | 38 | 38 | 55 | 32 | 46 |
| 10 | 60 | 55 | 80 | 42 | 70 |
| 16 | 75 | 70 | 105 | 60 | 90 |
| 25 | 105 | 90 | 135 | 75 | 115 |
| 35 | 130 | 105 | 160 | 90 | 140 |
| 50 | 165 | 135 | 205 | 110 | 175 |
| 70 | 210 | 165 | 245 | 140 | 210 |
| 95 | 250 | 200 | 295 | 170 | 255 |
| 120 | 295 | 230 | 340 | 200 | 295 |
| 150 | 340 | 270 | 390 | 235 | 335 |
| 185 | 390 | 310 | 440 | 270 | 385 |
| 240 | 465 | — | — |  | — |

*Piezīme. Č*etrdzīslu plastmasas izolācijas kabeļiem ar spriegumu līdz 1000 V 6. pielikumā dotās ilgstoši pieļaujamas strāvu vērtības jāreizina ar koeficientu 0,92.

3. No 2.13. tabulas atbilstoši noteikumam *Ip ≥ Ia* iz­vēlamies kabeļa dzīslas šķērsgriezumu 35 mm2 ar *Ip* = 140 Α guldīšanai zemē (*Ip* = 140 A > *Ia* = 124,3 A).

4. Aizsardzība pret ilgstošo pārslodzi.

Ja tīkls aizsargāts ar automātslēdzi, tad *Ip =*140 A≥ *Kaizs*∙*Ia* = 1·124,3 = 124,3 A un aizsardzības atbilstības no­teikums ir izpildīts (2.8. tab.).

Ja tīkls aizsargāts ar drošinātāju, tad *Ip =*140 A≤ *Kaizs*∙*Ia* = 1,25·124,3 = 155,4 A un tīkls neaizsargāts pret ilgstošo pārslodzi. Šajā gadījumā nepieciešams izvēlēt kabeļi ar dzīslas šķērsgriezumu 50 mm2.

5. Aizsardzība pret īsslēguma strāvas iedarbību.

No 2.8. tabulas spēka tīkliem aizsardzībai pret īsslēgumu ar drošinātājiem *Kaizs* = 0,33. Tad *Kaizs IN iel* = 0,33 · 124,3 = 41 A.

Tādejādi *Ip* =140 A > *Kaizs IN iel* = 41 A, un aizsardzības atbilstības no­teikums ir izpildīts.

Aizsardzībai pret īsslēgumu ar automātslēdžim *Kaizs* = 1,0. Tad *Kaizs IN iel* = 1,0 · 124,3 = 124,3 A. Tādejādi *Ip* =140 A > *Kaizs IN iel* = 124,3 A, un aizsardzības atbilstības no­teikums ir izpildīts.

**2.10. Trīsfāzu līnijas sprieguma zuduma aprēķins**

**Vada aktīvā pretestība.** Spriegums līnijas beigās atšķiras no sprieguma līnijas sākumā, jo strāva, plūstot vadā, rada sprieguma zudumu. Gaisvadu līniju vadu šķērsgriezums jāizvēlas tāds, lai sprieguma novirze pie patērētāja nepārsniegtu pieļaujamo lielumu.

Lai aprēķinātu sprieguma zudumu līnijā, jāzina līnijas vadu elektriskā pretestība. Elektriskās līnijas vadiem ir aktīvā pretestība. Līdzstrāvas un maiņstrāvas gadījumā vadu pretestības nav vienādas.

Ja pa vadu plūst maiņstrāva, novērojam virsmas efekta parādību (skinefektu) — strāvas blīvums vada šķērsgriezumā sadalās nevien­mērīgi, vada virspusē tas ir lielāks. Strāvas blīvuma nevienmērīgu sadalījumu rada arī tuvuma efekta parādība — vadā un ap vadu radies magnētiskais lauks «izspiež» strāvu otra vada ārējā daļā. Tāpēc vada aktīvā pretestība maiņstrāvai vienmēr ir lielāka nekā līdzstrāvai. Aktīvo pretestību līdzstrāvai sauc par omisko pretestību. 50 Hz maiņstrāvai aktīvās pretestības attiecība pret omisko pretes­tību ir apmēram vienāda ar vienu, tāpēc praktiskos aprēķinos var pieņemt, ka tās ir vienādas. Alumīnija vadu aktīvā pretestība mainās arī atkarībā no apkārtējās vides temperatūras un strāvas blīvuma. Praktiskos aprēķinos šīs izmaiņas neievēro.

Tehniskajā literatūrā uzrāda 1 km gara vada aktīvo pretestību omos — *R*0 (Ω/km). Ja zināms līnijas garums, vada marka un šķērsgriezums, *R*0 varam atrast tabulā un aprēķināt līnijas aktīvo pretestību

*R = R*0*∙l*, (2.41)

kur *l* — līnijas garums (km).

Aprēķinos bieži jālieto lielumi *ρ*(μΩ∙m) —vada aprēķina īpat­nējā pretestība un *γ* (MS/m) — aprēķina īpatnējā vadītspēja.

Apzīmējot vada šķērsgriezumu ar *F* (mm2), varam uzrakstīt sa­karības starp minētajiem lielumiem:

 (2.42)

kur *l* — vada garums (km).

Tērauda vadiem aktīvā pretestība maiņstrāvai ievērojami atšķi­ras no pretestības līdzstrāvai, jo tērauda vadiem ir krasi izteikts virsmas efekts.

Histerēze un virpuļstrāvas tērauda vados rada elektroenerģijas zudumus. Tie ir atkarīgi no strāvas lieluma, tāpēc tērauda vadiem nevar pieņemt, ka *R*0 ir konstants. Tērauda vadiem *R0* vērtības dotas rokasgrāmatu tabulās.

**Vada induktīva pretestība.** Ja vadā plūst maiņstrāva, ap vadu un pašā vadā rodas arī mainīgs magnētiskais lauks. Tāpēc vadam ir arī *induktīvā pre­testība.* Tabulās uzrāda īpatnējo induktīvo pretestību *X*0 (Ω/km). To var arī aprēķināt:

 (2.43)

kur *ω* = 2*πf* (*f* = 50 Hz, maiņstrāvas frekvence);

*Dvid* — vidējais ģeometriskais attālums starp vadiem (mm);

*μ* — vada materiāla relatīvā magnētiskā caurlaidība;

*d* — vada diametrs (mm).

Ja tīkla frekvence *f* = 50 Hz, formulu var pārveidot šādi:

 (2.44)

Apzīmējot  un , varam rakstīt, ka *X*0 = *X'*0 +*X’’*0.

Pirmo lielumu X*'0* sauc par *vada ārējo induktīvo pretestību,* jo tā ir atkarīga tikai no vadu vidējā ģeometriskā attāluma *Dvid* un vada diametra *d*,bet nav atkarīga no vada materiāla. Attālums starp vadiem gaisvadu līnijās ir no 400 mm zemsprieguma līnijās līdz 10500 mm 500 kV sprieguma līnijās. Tātad augstsprieguma līnijās induktīva pretestība ir lielāka nekā zemsprieguma līnijās. Kabeļos attālums starp strāvu vadošajām daļām salīdzinājumā ar attālumu starp vadiem gaisvadu līnijās ir mazs, tāpēc kabeļu induktīvā pretestība ir maza.

Vidējo ģeometrisko attālumu starp vadiem aprēķina šādi:

 (2.45)

kur *D*12, *D*23, *D*13— attālumi starp līnijas vadiem (2.55. att.).

Ja vadi balstā novietoti vienādā augstumā, tad *D*13 = 2*D*, *D*12 *= D*23 = *D* un

 (2.46)

Vada diametru nosaka no tabulām (2.17. tabula). Alumīnija vadiem atkarībā no vada diametra vai šķērsgriezuma un vidējā ģeo­metriskā attāluma ārējā induktīvā pretestība dota tabulā (2.18. tabula) .

Kabeļu ārējā induktīvā pretestība ir 3...4 reizes mazāka nekā gaisvadu līnijas vadiem.

*Vada iekšējā induktīvā pretestība* *X''*0 = 0,0157*μ*, ir atkarīga tikai no vada materiāla magnētiskajām īpašībām. Varam un alumīnijam, kas ir nemagnētisks materiāls (*μ* = l), iekšējo induktīvo pretestību aprēķinos neņem vērā, jo tā salīdzinājumā ar ārējo induktīvo pre­testību ir maza. Tērauda vadiem magnētiskā caurlaidība ir daudz­kārt (100...1000 reižu) lielāka nekā vara un alumīnija vadiem, tāpēc aprēķinos tērauda vadiem tā jāņem vēra.

Izmainoties strāvai vadā, izmainās arī magnētiskā lauka inten­sitāte, kas savukārt izmaina arī magnētisko caurlaidību. Tātad iek­šējā induktīvā pretestība *X”*0 mainās atkarībā no strāvas.

Ja zināms līnijas garums *l*, vada marka, šķērsgriezums un *Dvid*, *X*0 varam atrast tabulā (2.18. tabula) un aprēķināt līnijas reaktīvo pretestību

*X = X’*0*l.* (2.47)

Praktiskiem aprēķiniem trīsfāžu līnijas gadījumā īpatnējo pretestību *X’*0 var noteikt arī no 2.15. tabulas.

|  |  |
| --- | --- |
| 2.55. 8.15. att. Attālums starp vadiem. | 2.56. 8.16. att. Gaisvadu līniju kapacitāte:  *C*1*, C*2*, C*3 — kapacitātes starp vadiem un zemi,  *C*12, *C*23, *C*13 *—* vadu savstarpējas kapacitātes |

2.15. tabula

**Trīsfāžu līnijas īpatnēja induktīva pretestība *X*0, Ω/km**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Vada šķērsgriezums, mm2** | **Vadi caurulē** | **Līnijas spriegums, kV** | | | | | | |
| **Gaisvadu līnijas** | | | **Kabeļu līnijas** | | | |
| **līdz 1 kV** | **6—10 kV** | **35 kV** | **līdz 1 kV** | **6 kV** | **10 kV** | **35 kV** |
| 4-6 | 0,10 | – | – | – | 0,09 | – | – | – |
| 10-25 | 0,09 | 0,36 | 0,41 | – | 0,07 | 0,1 | 0,11 | – |
| 35-70 | 0,08 | 0,33 | 0,38 | 0,42 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | – |
| 95—120 | 0,08 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,12 |
| 150—240 | 0,08 | – | – | – | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,11 |

**Vada kapacitīvā vadītspēja.** Starp gaisvadu līnijas vadiem un katru vadu un zemi ir noteikta lieluma kapacitāte, jo katru vadu un zemi var uzskatīt par kondensatora plati (2.56. att.).

Trīsfāzu līnijas viena vada darba ka­pacitāte *C*0 (F/km), ja tīkla frekvence ir 50 Hz,

 (2.48)

reaktīvā kapacitīvā vadītspēja *B*0 (*S*∙km), ja tīkla frekvence ir 50 Hz

 (2.49)

Aprēķinot gaisvadu līnijas vai kabeļa darba kapacitāti, pieņem, ka strāvu vadošās daļas ir novietotas simetriski. Gaisvadu līnijās fāzu vadus var uzskatīt par simetriskiem, ja pēc noteikta attāluma izmaina vadu savstarpējo novietojumu balstos — lieto vadu transpozīciju.

Līnijas darba kapacitāte ir atkarīga no vadu vidējā ģeometriskā attāluma *Dvid* un vada diametra *d.* Zemsprieguma līnijām kapacitāte ir lielāka nekā augstsprieguma līnijām.

Kabeļu kapacitātes noteikšanai formulu (2.48) izmantot nevar, jo kabeļu izolācijas materiāla dielektriskā caurlaidība ir lielāka nekā gaisam un kabeļiem elektriskā lauka forma ir savādāka nekā gais­vadu līnijas vadiem. Parasti katrai kabeļa markai rūpnīca uzrāda tā kapacitāti tehniskajos datos.

Ja zināma līnijas reaktīvā kapacitīvā vadītspēja, varam aprēķināt līnijas *kapacitīvo* jeb *uzlādēs strāvu IC* (A):

 (2.50)

kur *U* — līnijas spriegums (V);

*l* — līnijas garums (km),

Gaisvadu līnijām ar spriegumu līdz 35 kV (ieskaitot) un kabeļu līnijām ar spriegumu līdz 10 kV (ieskaitot) kapacitīvā strāva ir maza, un aprēķinos kapacitīvo vadītspēju neņem vērā.

**Trīsfāzu līnijas sprieguma zuduma aprēķins, ja slodze ir līnijas beigās.** Sprieguma zudumu aprēķināsim kā līnijas sprieguma zudumu:

 (2.51)

Turpmāk aprēķinos lietosim līnijas sprieguma zuduma vērtību, neuzrādot indeksu *l* pie Δ*U*, līnijas induktīvo pretestību apzīmēsim *XL = X*.

Ja slodze dota jaudas vienībās, formulu (2.51) pārveido­jam šādi:



 (2.52)

kur *Q* — reaktīvā jauda.

Aizvietojot formulā (2.52) *R = R*0∙*l*, *X = X*0∙*l*, iegūstam

 (2.53)

Ja līnijas sākumu apzīmējam ar A, patērētāja pieslēgšanas pun­ktu līnijas galā ar 1, tad līnijas garums ir *lA*1, līnija pārvada jaudu *PA*1 — *jQA*1 un sprieguma zudums līnijā

. (2.54)

Vadu un kabeļu šķērsgriezumus izvēlas pēc aprēķina (aplēses) strāvas un pārbauda, vai izraudzīto vadu pret silšanu aizsargā aizsardzības aparatūra. Lai noteikums būtu ievē­rots, jābūt spēkā nevienādībai

 (2.55)

kur *Ip* — vada vai kabeļa pieļaujamā strāva (nosaka no tabulām);

*Ia* — aprēķina (aplēses) strāva;

*K* — koeficients, kuru izvēlas atkarībā no vides maksimālās temperatūras.

***2.6. piemērs.*** Izvēlēt vadu šķērsgriezumu, aprēķināt sprieguma un jaudas zudumi tiklā, kā arī tīkla parametrus. Gaisvadu līnijas garums *l* = 4 km, vidējais attālums starp vadiem *Dvid* = 0,8 m. Transformators TM-180/6 ar maksimālo slodzi *Sm* = 160 kW – *j*180 kVA. Tīkla nominālais spriegums 6 kV (4.2. att.).

|  |
| --- |
| 2.57. att. |

Atrisinājums.

1. Līnijas un transformatora nominālā strāva



2. Izvēlam AC vadu ar šķērsgriezumu *F* = 16 mm2 (2.16. tabula) ar *Ip* = 79 A (*Ip* = 79 A > *IN* = 13,34 A).

2. No mehāniskās izturības viedokļā vismazākais tēraudalumīnija vada šķērsgriezums ir F = 25 mm2 (2.1. tabula) ar *Ip* = 109 A.

4. Līnijas aktīvā pretestība



5. Vada diametrs



No tabulas 2.18 vada īpatnēja induktīvā pretestība *X*0 = 0,364 Ω/km, ja *Dvid* = 0,8 m.

6. Līnijas induktīvā pretestība

*XL* = *X*0·*l* = 0,364·4 = 1,46 Ω ≈ 1,5 Ω.

7. Aktīvās jaudas zudumi līnijā



8. Reaktīvās jaudas zudumi līnijā



9. Sprieguma zudumi līnijā



10. Sprieguma zudums procentos



2.16. tabula

**Gaisvadu pieļaujamas strāvas**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nominālais**  **šķērsgriezums**  **mm2** | **Šķērsgriezums**  **(alumīnijs/tērauds,**  **mm2)** | **AC** | | **M** | **A** | **M** | **A** |
| **telpā** | **ārpus**  **telpa** | **ārpus telpa** | | **telpā** | |
| 10 | 10/1,8 | 84 | 53 | 95 | - | 60 | - |
| 16 | 16/2,7 | 111 | 79 | 133 | 105 | 102 | 75 |
| 25 | 25/4,2 | 142 | 109 | 183 | 136 | 137 | 106 |
| 35 | 35/6,2 | 175 | 135 | 223 | 170 | 173 | 130 |
| 50 | 50/8 | 210 | 165 | 275 | 215 | 219 | 165 |
| 70 | 70/11 | 265 | 210 | 337 | 265 | 268 | 210 |
| 95 | 95/16 | 330 | 260 | 422 | 320 | 341 | 255 |
| 120 | 120/19  120/27 | 390  375 | 313 | 485 | 375 | 395 | 300 |
| 150 | 150/19  150/24  150/34 | 450  450  450 | 365 | 570 | 440 | 465 | 355 |
| 185 | 185/24  185/29  185/43 | 520  510  515 | 430  430  425 | 650 | 500 | 540 | 410 |
| 240 | 240/32  240/39  240/56 | 605  610  610 | 505 | 760 | 590 | 685 | 490 |
| 300 | 300/39  300/48  300/66 | 710  690  680 | 600  600  585 | 880 | 680 | 740 | 570 |
| 330 | 330/27 | 730 | - | - | - | - | - |
| 400 | 400/22  400/51  400/64 | 830  825  860 | 713  713  705 | 1050 | 815 | 895 | 690 |
| 500 | 500/27  500/64 | 960  945 | 830 815 | - | 980 | - | 820 |
| 600 | 600/72 | 1050 | 920 | - | 1100 | - | 955 |

2.17. tabula

**Kailvadu konstruktīvie un aprēķina dati**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Alumīnija vadi (A)** | | | | | | **Tēraudalumīnija vadi (AC)** | | | | | | |
| **Nominālais**  **šķērsgriezums, mm2** | **Aprēķina šķērsgriezums, mm2** | **Aprēķina diametrs, mm** | **Aktīva pretestība R0, Ω/km** | **Vada svars, daN/km** | **Dzīslu skaits un diametrs, mm** | **Nominālais šķērsgriezums, mm2** | **Alumīnija daļas aprēķina šķērsgriezums, mm2** | **Tērauda daļas aprēķina šķērsgriezums, mm2** | **Aprēķina diametrs, mm** | **Aktīva pretestība R0, Ω/km** | **Vada svars, daN/km** | **Dzīslu skaits un**  **diametrs, mm** |
| 16 | 15,9 | 5,1 | 1,98 | 44 | 7 x 1,7 | 25 | 22,8 | 3,8 | 6,6 | 1,38 | 92 | 6x2,2 +1x2,2 |
| 25 | 24,7 | 6,4 | 1,28 | 68 | 7 x 2,12 | 35 | 36,9 | 6,2 | 8,4 | 0,85 | 150 | 6x2,8 + 1x2,8 |
| 35 | 34,4 | 7,5 | 0,92 | 95 | 7 x 2,5 | 50 | 48,3 | 8,0 | 9,6 | 0,65 | 196 | 6x3,2 +1x3,2 |
| 50 | 49,5 | 9,0 | 0,64 | 136 | 7 x 3,0 | 70 | 68,0 | 11,3 | 11,4 | 0,46 | 275 | 6x3,8 +1x3,8 |
| 70 | 69,3 | 10,7 | 0,46 | 191 | 7 x 3,55 | 95 | 95,4 | 15,9 | 13,5 | 0,33 | 386 | 6x4,5 + 1x4,5 |
| 95 | 93,3 | 12,4 | 0,34 | 257 | 7 x 4,12 | 120 | 115 | 22,0 | 15,2 | 0,27 | 492 | 28x2,3 + 7x2,0 |
| 120 | 117 | 14,0 | 0,27 | 322 | 19 x 2,8 | 15C | 148 | 26,6 | 17,0 | 0,21 | 617 | 28x2,6 + 7x2,2 |
| 150 | 148 | 15,8 | 0,21 | 407 | 19 x 3,15 | 185 | 181 | 34,4 | 19,0 | 0,17 | 771 | 28x2,9 + 7x2,5 |
| 185 | 183 | 17,5 | 0,17 | 503 | 19 x 3,5 | 240 | 238 | 43,1 | 21,6 | 0,132 | 997 | 28x3,0 + 7x2,8 |
| 240 | 239 | 20,0 | 0,132 | 656 | 19 x 4,0 | 300 | 295 | 56,3 | 24,2 | 0,107 | 1257 | 28x3,7 + 7x3,2 |
| 300 | 298 | 22,4 | 0,106 | 817 | 37 x 3,2 | 400 | 395 | 72,2 | 28,0 | 0,08 | 1660 | 28x4,2 + 19x2,2 |

2.18. tabula

**Gaisvadu līniju vadu ārējās induktīvās pretestības *X'a* (Ω/km)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Vidējais ģeometriskais attālums starp vadiem Dvid , mm** | **Vadu diametrs, mm** | | | | | | | | | | | | | |
| **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **12** | **14** | **16** | **18** | **20** | **24** | **28** | **32** |
| 600 | 0,359 | 0,347 | 0,337 | 0,329 | 0,322 | 0,316 | 0,305 | 0,245 | — | — | — | — | — | — |
| 800 | 0,376 | 0,364 | 0,356 | 0,347 | 0,340 | 0,333 | 0,322 | 0,312 | *—* | — | — | — | — | — |
| 1000 | 0,391 | 0,379 | 0,370 | 0,361 | 0,354 | 0,347 | 0,336 | 0,326 | *—* | — | — | — | — | *—* |
| 1250 | 0,404 | 0,393 | 0,383 | 0,376 | 0,368 | 0,362 | 0,350 | 0,340 | *—* | — | — | — | — | — |
| 1500 | 0,416 | 0,404 | 0,394 | 0,386 | 0,379 | 0,372 | 0,362 | 0,351 | — | — | — | — | — | — |
| 1750 | 0,426 | 0,415 | 0,404 | 0,396 | 0,389 | 0,383 | 0,371 | 0,363 | — | — | — | — | — | — |
| 2000 | 0,433 | 0,422 | 0,413 | 0,404 | 0,396 | 0,391 | 0,379 | 0,370 | 0,361 | 0,354 | 0,347 | — | — | — |
| 2500 | — | — | 0,426 | 0,419 | 0,411 | 0,404 | 0,393 | 0,383 | 0,376 | 0,368 | 0,362 | — | — | — |
| 3000 | — | — | 0,437 | 0,429 | 0,422 | 0,416 | 0,404 | 0,394 | 0,386 | 0,379 | 0,372 | — | — | — |
| 3500 | — | — | 0,448 | 0,439 | 0,432 | 0,426 | 0,415 | 0,404 | 0,396 | 0,389 | 0,383 | — | — | — |
| 4000 | — | — | 0,456 | 0,448 | 0,441 | 0,433 | 0,422 | 0,413 | 0,404 | 0,396 | 0,391 | 0,379 | 0,370 | 0,361 |
| 4500 | — | — | — | — | 0,448 | 0,441 | 0,432 | 0,419 | 0,412 | 0,404 | 0,398 | 0,386 | 0,378 | 0,369 |
| 5000 | — | — | — | — | 0,455 | 0,448 | 0,436 | 0,429 | 0,419 | 0,411 | 0,404 | 0,393 | 0,383 | 0,376 |

2.19. tabula

**Gaisvadu līniju vadu kapacitīvā vadītspēja (S/km∙l0-6)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Vidējais ģeometriskais attālums starp**  **vadiem *Dvid* , mm** | **Vadu diametrs, mm** | | | | | | | | |
| **10** | **12** | **14** | **16** | **18** | **20** | **24** | **28** | **32** |
| 3000 | 2,73 | 2,82 | 2,90 | 2,95 | 3,01 | 3,06 | — | — | — |
| 3500 | 2,66 | 2,73 | 2,82 | 2,87 | 2,93 | 2,98 | — | — | — |
| 4000 | 2,61 | 2,68 | 2,75 | 2,82 | 2,87 | 2,92 | 3,01 | 3,08 | 3,16 |
| 4500 | 2,56 | 2,62 | 2,70 | 2,76 | 2.82 | 2,86 | 2,94 | 3,02 | 3,10 |
| 5000 | 2,53 | 2,60 | 2,66 | 2.71 | 2,76 | 2,82 | 2.89 | 2,97 | 3,03 |
| 5500 | 2,49 | 2,56 | 2,62 | 2.67 | 2,72 | 2,77 | 2,86 | 2,93 | 2,99 |
| 6000 | 2,46 | 2,53 | 2,59 | 2,64 | 2,68 | 2,73 | 2,82 | 2,90 | 2,95 |
| 6500 | — | — | — | — | — | 2,70 | 2,77 | 2,85 | 2,91 |
| 7000 | — | — | — | — | — | 2,66 | 2,73 | 2,82 | 2.87 |
| 7500 | — | — | — | — | — | 2,64 | 2,71 | 2,78 | 2,84 |
| 8000 | — | — | — | — | — | 2,61 | 2,68 | 2,75 | 2,82 |
| 8500 | — | — | — | — | — | 2,59 | 2,66 | 2,73 | 2,78 |

**2.7. piemērs.** Noteikt kabeļu dzīslas šķērsgriezumu, aktīvas un reaktīvas jaudas zudumus alumīnija trīsdzīslu kabeļu līnijai ar spriegumu 10 kV un garumu 2 km. Līnijas aprēķina slodze *Sa = =P + jQ* = 3 + *j*1,3 MVA.

Atrisinājums.

1. Līnijas nominālā strāva



2. No silšanas viedokļa varam izvēlēt kabeļu ar dzīslas šķērsgriezumu *F* = 70 mm2 (2.14. tab.).

3. Aprēķinam līnijas aktīvo un reaktīvo pretestību. Lielumi *R*0 un *X*0 pieņemam atbilstoši 2.20. tabulai.

*RL = R0 ∙ℓ =* 0,443· 2 = 0,886 Ω;

*XL = X0 ∙ℓ =* 0,086·2 = 0,172 Ω.

4. Aktīvas jaudas zudumi līnijā:



Reaktīvas jaudas zudumi līnijā:



6. Sprieguma zudumi līnijā



7. Sprieguma zudumu vados izsaka procentos no patērētāja no­minālā sprieguma *UN*:



2.20. tabula

**Trīsdzīslu kabeļu aktīvās un induktīvās pretestības (Ω/km)**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kabeļa dzīslas nominālais šķērsgriezums, mm2** | **Aktīvā pretestība *R*0, ja temperatūrā**  **+20 ° C** | | **Induktīvā pretestība *X*0,ja nominālais spriegums (kV)** | | | |
| **alumīnija** | **vara** | **līdz 1** | **6** | **10** | **20** |
| **4** | 7,74 | 4,6 | 0,095 | — | — | — |
| **6** | 5,17 | 3,07 | 0,090 | — | — | — |
| **10** | 3,1 | 1,84 | 0,073 | 0,11 | 0,122 | — |
| **16** | 1,94 | 1,15 | 0,0675 | 0,102 | 0,113 | — |
| **25** | 1,24 | 0,74 | 0,0662 | 0,091 | 0,099 | 0,135 |
| **35** | 0,89 | 0,52 | 0,0637 | 0,087 | 0,095 | 0,129 |
| **50** | 0,62 | 0,37 | 0,0625 | 0,083 | 0.090 | 0,119 |
| **70** | 0,443 | 0,26 | 0,0612 | 0,08 | 0,086 | 0,116 |
| **95** | 0,326 | 0,194 | 0,0606 | 0,078 | 0,083 | 0,110 |
| **120** | 0,258 | 0,153 | 0,0602 | 0,076 | 0,081 | 0,107 |
| **150** | 0,206 | 0,122 | 0,0596 | 0,074 | 0,079 | 0,116 |
| **185** | 0,167 | 0,099 | 0,0592 | 0,073 | 0,077 | 0,101 |
| **240** | 0,129 | 0,077 | 0,0587 | 0.071 | 0,075 | — |

**2.8. piemērs.** Ražošanas telpas ventilatoru, kas novietots 50 m attālumā no sadales, piedzen trīsfāzu asinhronais dzinējs, kuram ir šādi pases dati: *PN* = 20 kW, *UN* = 380 V, cos*φN* = 0,82*, ηN* = 0,88; palaišanas strāvas koeficients *KI* = 5.

Aprēķināt atklāti gar sienu novietota trīsdzīslu alumī­nija kabeļa ar gumijas izolāciju šķērsgriezumu un izvēlē­ties drošinātāja kūstošo ieliktni. Aprēķināt jaudu un cos*φ* dzinēju barojošās līnijas sākumā. Dzinēja noslodzes koefi­cients *Kn* = l. Kabeļa reaktīvo pretestību neievērot.

Atrisinājums. Dzinēja darba strāva



Kabelim pieļaujamai strāvai *Ip* jābūt lielākai par dzi­nēja nominālo strāvu *IN*, tāpēc no P.2.5. tabulas izvēlamies šķērsgriezumu 16 mm2, kam *Ipieļ* = 60 Α.

Pārbaudīsim kabeļa šķērsgriezuma atbilstību pieļaujamajam sprieguma zudumam.

Vienas dzīslas pretestība



Sprieguma zudums kabeļa fāzē

Δ*Uf* ≈ *R*1*IN* cos*φN* = 0,098 · 42,16 · 0,82 = 3,39 V.

Līnijas sprieguma zudums





Jaudas zudums kabelī

Δ*P*1 = 3*IN*2*R*1 ·10-3 = 3 · 42,162 · 0,098= 553 W = 0,55 kW.

Jauda līnijas sākumā



Spriegums līnijas sākumā

*U*1 = *UN* + Δ*U* = 380 + 5,9 = 385,9 V.

Jaudas koeficients līnijas sakuma



**3. NODAĻA**

**ZEMSPRIEGUMA TĪKLU AIZSARDZĪBA**

**3.1. VADU UN KABEĻU AIZSARDZĪBA PRET SILŠANU**

Ja strāva vadā vai kabelī pārsniedz pieļaujamo vērtību, vads vai kabelis sasilst virs pieļaujamās temperatūras. Sasilšanas re­zultātā bojājas izolācija, var izcelties ugunsgrēks, sprādziennedrošās telpās var rasties sprādziens. Tāpēc elektriskajā tīklā uzstāda aizsardzības aparatūru, kuras uzdevums automātiski atslēgt tīkla posmu, kurā strāva pārsniedz pieļaujamo vērtību.

Tīklos ar spriegumu līdz 1000 V par aizsardzības aparatūru lieto

* kūstošos drošinātājus,
* automātiskos gaisa slēdžus
* automātus un termorelejus.

Termorelejus iemontē arī magnētiskajos palaidējos un kontaktoros.

Zemsprieguma tīkls ar aparātiem paradīts 3.1. attēlā.

|  |
| --- |
|  |

3.1. att. Zemsprieguma tīkls ar aparātiem: 1 - galvenais automātslēdzis; 2 - drošinātājs; 3 – svirslēdzis; 4 - slodzes atdalītājs; 5 - drošinātāj-atdalītājs; 6 - magnētiskais palaidējs (dzinēju starteris); 7 - kontaktors; 8 - pārslodzes relejs; 9 - svirslēdzis ar drošinātāju; 10 - automātslēdzis;

**3.2. DROŠINĀTĀJI.**

Drošinātājiem ir vienkārša konstrukcija, vienkārša ekspluatācija un vēsturiski tā bija pirmā elektriskā aizsardzības ierīce. Visvairāk drošinātājus izmanto elektroie­kārtās ar spriegumu līdz 1000 V, bet izmanto arī 6, 10, 20 kV elektroiekārtās, ļoti reti — 110 kV iekārtās.

Drošinātājiem uzrāda šādus tehniskos datus:

* nominālais spriegums Ue (UN.dr.) — elektroiekārtas spriegums, līdz kādam droši­nātāju var uzstādīt;
* drošinātāja nominālā strāva In (IN.dr.) — ilgstoši pieļaujamā strāva drošinātāju kontaktu sistēmai;
* drošinātāja kūstošā elementa nominālā strāva In (IN.iel.) — strāva, kuru drošinātāja kūstošais ieliktnis iztur neierobežoti ilgu laiku;
* drošinātāja atslēgtspēja — atslēgšanas strāvas vērtība, kādu drošinātājs spēj atslēgt noteiktos apstākļos un dotā sprieguma tīklā (atslēgšanas strāva — strāva komutācijas aparāta polā vai drošinātājā tajā atslēgšanas brīdī, kad rodas elektriskais loks. Ārzemju literatūrā sastopams termins — neietekmētā atslēgšanas strāva. Tā ir strāva, kas plūstu ķēdē, ja katrs komutācijas aparāta vai drošinātāja pols tiktu aizstāts ar neievērojami mazas pretestības vadītāju);
* drošinātāja laikstrāvas raksturlīkne — drošinātāja kūstošā elementa kušanas laika atkarība no caurplūstošās strāvas noteiktos apstākļos (3.3. att.).

Sērijā ražotiem drošinātājiem katalogos uzrāda nostrādes laika tno atkarību no caurplūstošās strāvas attiecības pret kūstošā ieliktņa nominālo strāvu Ic/IN.iel, tad viena laikstrāvas raksturlīkne der visiem šīs sērijas drošinātājiem. Precīzākas ir laik­strāvas raksturlīknes *t = f*(*Ip*), kur *Ip* — caurplūstošā pārbaudes strāva, kas atbilst iespējamai īsslēguma strāvai *Ik* (to Džoula integrāļi ir vienādi). Drošinātāja darbības raksturošanai izmanto papildjēdzienus: drošinā­tāja loka spriegums, drošinātāja lokdedzes laiks, Džoula integrālis, Džoula integrāļa raksturlīkne, pirmsloka laiks, drošinātāja pārdegšanas laiks, atslēgtspēja, caurlaides spēja, sagaidāmā strāva, selektivitāte.

Pirmsloka laiks *ts* — laika intervāls no avārijas strāvas plūšanas sākuma, līdz mo­mentam, kad aizdegas elektriskais loks.

Lokdedzes laiks *tt* — laika intervāls starp loka rašanās brīdi un loka nodzīšanas brīdi drošinātājā.

Drošinātāja nostrādes laiks *tn*0 — pirmsloka laika un lokdedzes laika summa.

Džoula integrālis — strāvas kvadrāta integrālis laika intervālā (*t*1 — *t*0):

 (3.1)

Pirmsloka Džoula integrālis attiecas uz drošinātāja pirmsloka laiku, loka Džoula integrālis attiecas uz lokdzēses laiku, nostrādes integrālis — uz nostrādes laiku (3.2. att.).

 (3.2)

 (3.3)

Sagaidāmā strāva — strāva, kāda plūdīs drošinātāja elektriskajā ķēdē, ja droši­nātāja kūstošo ieliktni aizvietos ar spaiļu savienotāju, kura elektrisko pretestību var praktiski uzskatīt vienādu ar nulli.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

3.2. att. Drošinātāja darbības princips: *ts* - pirmsloka laiks; *tt* - lokdedzes laiks un kopējais nostrādes laiks; *tt - tv* - drošinātāja ieliktņa kušanas laiks; *tv* – loka degšanas laiks; *ic* - maksimālā momentānā strāvas vērtība, kādu var sasniegt strāva drošinātāja atslēgšanas laikā, *is* - īsslēguma strāvas aprēķina amplitūda

Džoula integrāļa raksturlīkne — Džoula integrāļa vērtība kā neietekmētās strāvas un/vai sprieguma funkcija noteiktos apstākļos.

Drošinātāja loka spriegums — sprieguma lielākā momentānā vērtība starp dro­šinātāja izvadiem loka degšanas laikā.

Drošinātāju caurlaides spēja — maksimālā momentānā strāvas vērtība, kādu var sasniegt strāva drošinātāja atslēgšanas laikā.

Drošinātāja kūstošā elementa nostrādes laiks atkarīgs no caurplūstošās strāvas lieluma un arī no apkārtējās vides temperatūras. Tāpēc drošinātājiem nevar precīzi noteikt nostrādes laiku atkarība no caurplūstošās strāvas lieluma, bet nostrādes laiku uzrāda dažreiz ar divām līknēm, kas ierobežo zonu, kurā iespējama kūstošā elementa pārdegšana (3.3. att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.3. att*.* Drošinātāja PN-2 laikstrāvas  raksturlīkne: 1 — aukstam drošinātājam;  2 — ar *IN* uzsilušam drošinātājam |

Nominālas strāvas gadījumā drošinātājs var strādāt neierobežoti ilgi. Darba pārslodzes diapazonā (*I*/*In* = 1…5) drošinātāja nostrādes laiks diezgan liels. Parastam drošinātajam, ja *I*/*In* = 5 sastāda 1 s. Tas atļauj aizsargājamai aparatūrai brīvi strādāt visas pārslodzes strāvas diapazonā. Bet ja pārslodzes strāva sasniedz vērtību *I*/*In* = 10..11, tad nostrādes laiks sastāda ~ 0,05 s (3.3. att.).

Drošinātājiem tāpat kā pārējiem aizsardzības aparātiem jādarbojas selektīvi. Sazarotā elektriskā tīklā vienā un tajā pašā līnijas posmā, slēgti virknē, var būt vairāki drošinātāji. To kūstošie elementi jāizvēlas tā, lai vispirms pārdegtu tā droši­nātāja kūstošais elements, kurš atrodas tuvāk bojājuma vietai, piemēram FU3 (3.4. att.).

|  |
| --- |
|  |

3.4. att. Drošinātāju selektīva darbība

Avārijas gadījumā līnijā C pārdeg tikai drošinātājas zarā BC, bet pārējie patērētāji turpina funkcionēt. Analogi patērētāji kas pieslēgti zaram A turpina strādāt ja notiek avārija līnijā B. Tādu selektīvu atslēgšanu ar drošinātājiem viegli realizēt ja darba strāvas attiecība sastāda 2:1 vai vairāk katram zemāk stāvošam zaram.

Ja aizsardzība organizēta ar drošinātājiem ar vienāda tipa raksturlīknēm, tad selektivitāti var pārbaudīt ar diviem vienkāršākiem paņēmieniem:

* saskaņojot aizsardzības darbības laikus;
* saskaņojot nominā­lās strāvas.

Drošāks ir pirmais paņēmiens. Laikus saskaņojot, ņem vērā raksturlīkņu kļūdas. Drošinātājiem laika kļūda var sasniegt ±50%. Nelabvēlīgākā gadījumā drošinātāja ieliktnis ar lielāko strāvu var pārdegt ātrāk nekā pēc raksturlīknes (0,5∙*tiel.*1), bet ieliktņa ar mazāko strāvu kušana var ieilgt (l,5∙*tiel.*2). Tātad selektivitāte tiks nodrošināta, ja *tiel.*1 *≥* 3*∙tiel.*2.Tā kā vienlaicīga un turklāt pretēja rak­stura kļūdu parādīšanās varbūtība ir neliela, tad parasti rēķinās ar bieži sastopamām ±25% novirzēm no raksturlīknes. Apkopojot abus gadījumus, iegūst

*tiel.*1 ≥ (l,7...3) *tiel.*2. (3.4)

Aizsardzības nostrādes laikus pārbauda ar maksimālo trīsfāzu īsslēguma strāvu Ik*,max*(3).Drošinātāju kušanas laiku trīskāršu atšķirību izmanto atbildīgiem patērētājiem, kad nepieciešams praktiski pilnīgi novērst neselektīvu nostrādi.

Mazāk drošs selektivitātes nodrošināšanas paņēmiens ir drošinā­tāju izvēle pēc to ieliktņu nominālo strāvu skalas vērtību atšķirības. No pārbaudes pēc izteiksmes (3.4) var secināt, ka atšķirībai pa­rasti jābūt divām skalas pakāpēm. Dažkārt pietiek ar vienu pakāpi, citreiz nepieciešamas trīs pakāpes.

*Drošinātāja darbību sauc par selektīvu, ja drošinātāja kūstošais elements pārdeg tikai tad, kad bojājums ir tās elektriskās ķēdes posmā vai elek­troiekārtā, kura drošinātājam jāaizsargā, un nepārdeg, ja bojājums ir tajā elektriskās ķēdes posmā vai elektroiekārtā, kura drošinātājam nav jāaizsargā.*

**3.2.1. NH SISTĒMAS DROŠINĀTĀJI**

NH tipa drošinātājus izgatavo, ievērojot standartus EN 60 269-2-1, IEC 269, Vācijas rūpniecības normas DIN un Vācijas elektrotehniķu savienības VDE 0636 izstrādātos noteikumus un normas DIN VDE 0636, DIN VDE 0680.

Drošinātājs var aizsargāt elektrisko ķēdi pret īsslēgumu un pārslodzi (gG tipa drošinātāji) vai tikai no īsslēguma (aM tipa drošinātāji).

Praksē sastopami dažādas konstrukcijas drošinātāji, bet tie visi sastāv no divām daļām: drošinātāja izņemamās daļas un drošinātāja pamatnes (3.5. att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  | ***c*** |

3.5. att. NH sērijas drošinātājs: *a* – drošinātāja ieliktnis un tā griezums; *b* – kopskats; *c* – grafiskais apzīmējums; 1 – drošinātāja korpuss; 2 – drošinātāja ieliktņa kontaktdetaļa (kontaktnazis); 3 – gala vāks; 4 – āķi ielikta satveršanai; 5 – skrūves vāka piestiprināšanai; 6 – kūstošais elements; 7 – kvarca smilšu pildījums; 8 – nostrādes indikators; 9 – indikatora atspere; 10 – indikatora stieplīte

Drošinātāja izņemamā daļa sastāv no drošinātāja ieliktņa 6 un drošinātāja ieliktņa turētāja 1. Drošinātāja ieliktnis ir drošinātāja daļa, kam ir viens vai vairāki kūstošie elementi, kas izkūst, ja strāva aizsargājamā ķēdē zināmu laiku pārsniedz noteiktu vērtību un kas pēc drošinātāja nostrādes paredzēts nomaiņai.

Drošinātāja ieliktņa turētājs ir drošinātāja noņemama daļa, kas paredzēta dro­šinātāja ieliktņa saturēšanai. Izolējošie korpusi tiek izgatavoti no temperatūras svārstību noturīgiem materiāliem - steatīta, korderīta vai porcelāna caurules, kuras ārpuse ir kvadrātiska vai cilindriska, iekšpusē atrodas kūstošais elements. Tai pievieno drošinātāja ieliktņa kontaktdetaļas 2. Turklāt keramiskais korpuss ir aizpildīts ar kvarca smiltīm 7.

Drošinātāja pamatne 3 ir drošinātāja balsta daļa, kura ar skrūvēm piestipri­nātas drošinātāja pamatnes kontaktdetaļas (2), kuras ar izņemamās daļas kontaktnažiem veido pārtraucamu kontaktu. Kontaktnaža serdi veido varš vai misiņš, bet aizsarakārtu – sudrabs vai niķelis. Lai samazinātu pārtraucamā kontakta pārejas pre­testību, pamatnes kontaktdetaļas saspiež tērauda gredzens. Drošinātāja izņemamo dalu apmaina, izmantojot speciālu maiņas rokturi, ko aizkabina aiz ieliktņa turētāja aizkabes.

Ir arī drošinātāju ieliktņi ar nostrādes indikatoru 8. Pirms kūstošais elements ir pārdedzis, indikatora atsperīti 9 noslogo indikatora stieplīte 10. Kad elements pārdeg, stieplīte atbrīvo atsperi un nostrādes indikators tiek izstumts uz āru. Indikatora stāvokļus var apskatīt 3.6. attēlā.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.6. att. Nostrādes indikators: *a* - *nostrādājis,*  *b – nav nostrādājis* |

Drošinātāja kūstošam elementam jābūt no metāla, kam ir zema kušanas tempe­ratūra, laba siltumvadāmība, nemainīga struktūra pie augstas temperatūras, lēts. Praksē kūstošā elementa izgatavošanai izmanto varu vai sudrabu. Sudrabam salīdzi­nājumā ar varu ir labāka siltumvadāmība un elektrovadāmība, augstas temperatūras apstākļos tam nemainās struktūra. Tomēr sudrabs ir dārgs metāls, tāpēc parasti kūstošo elementu izgatavo no vara vai no apsudrabota vara. Sudraba kušanas tem­peratūra ir 960 0C, varam — 1083 0C. Varam mainīgas augstas temperatūras ietekmē mainās materiāla struktūra, kā arī kūstošā ieliktņa pārdegšanas laiks, tātad sama­zinās drošinātāja darbības efektivitāte. Drošinātāja kūstošo elementu izgatavo stiep­les vai metāla sloksnes veidā.

Kušanas ieliktni izgatavo no speciālas formas varu sloksnes un atsevišķās vietās samazina šķērsgriezumu (3.7. att.) ar izštancētiem caurumiem. Ieliktņus izgatavo no metāla ar labu vadītspēju, parasti no vara, lai samazinātu metāla daudzumu loka dzēšanas zonā, bet lieliem drošinātājiem ieliktņus veido no vairākiem paralēliem kustošiem elementiem.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |
| 3.7.att. Drošinātāju kustoša ieliktņa uzbūve:  *a* – drošinātājs PN-2 600 A; *b, c* - ātrdarbīgais drošinātājs; 1 — lodalvas lodītes; 2 — caurumi |
| ***c*** |

Caurumu konfigurācija ir atkarīga no elektriskās ķēdes pārtraukšanas ātruma. Ja plūst nomināla strāva, siltums, kas izdalās ieliktnī samazināta šķērsgriezuma daļās, paspēj sadalīties vienmērīgi pa ieliktni.

Pārslodzes gadījumā, kad strāva ķēdē sasniedz (1,6-5)∙IN, drošinātāja nostrādes laiks ir relatīvi liels (no l s līdz 120 min) (sk. 3.3. att.). Siltums sadalās nevienmērīgi un sloksne kūst viskarstākajā vietā. Šajā laikā līdz kušanas temperatūrai var sakarst ne tikai kūstošais elements, bet siltumvadāmības ceļā arī kontaktdetaļas, kas nav pieļaujams. Lai izvairītos no drošinātāja patrona sakarsumu pirms ieliktņa pārdegšanas samazina metalurģiskais efekts. Metalurģiskais efekts ir cieta metāla šķīšana izkausētā metālā. Šai nolūkā uz vara kustošā elementa noteiktā vietā uzkausē nelielu alvas lodīti 3.7. att. *a*), kurai ir daudz zemāka kušanas temperatūra nekā varam (2320C pret 10830C). Lodīti izkausē neliela strāva, šķidrā alva sāk šķīdināt vara kustošo elementu un veicina to pārdegšanu.

Īsslēguma gadījumā kūstošā elementa sakāršana notiek tik strauji, ka siltum­vadāmība praktiski nenotiek un ieliktnis var pārdegt dažas vietās. Pārdegot kūstošam elementam, rodas elektriskais loks. Tāpēc jāveic pasākumi tā dzēšanai. Šim nolūkam izmanto kvarca smiltis un dažādus gāzģenerējošus materiālus. Smiltī notiek elektriskā loka dejonizācija šaurās spraugās starp smilšu graudiņiem. Loks, kas radies stieples atrašanās vietā, ir piesātināts ar izkusušās stieples metāla jonizētiem tvaikiem. Augstās temperatūras un lielā spiediena rezultātā jonizētās daļiņas tiek izšķiestas radiālā virzienā, kur tās iekļūst starp smilšu graudiem, nosēžas uz tiem, atdziest un dejonizējas. Metalurģiskais efekts īsslē­guma gadījumā nepaspēj izpausties.

Atkarībā no izmantošanas mērķa, drošinātāji var būt parastie un ātrdarbīgie. Tā, drošinātājiem pusvadītāju iekārtu (diožu, tiristoru) aizsardzībai jābūt ātrdarbīgiem lai novērstu to iekšējo p-n pāreju bojājumus paaugstinātas temperatūras dēļ. Lai palielinātu drošinātāja atslēgtspēju izmanto speciālas formas sloksnes (3.7. att. *b*, *c*), Šajā gadījuma elektrodinamiskie spēki sapleš ieliktņi pirms to kušanu, ja paradās īsslēguma strāva.

Drošinātāju laika strāvas raksturlīknes atbilst Eiropas Normām EN 60 269 (IEC 269) un ir pieejamas šādas lietošanas klases drošinātāji:

gL/gG/gM – paredzēti kabeļiem un sprieguma aizsardzībai;

aM – lokālā aizsardzība slēgiekārtām un motoriem;

gTr – transformatoru aizsardzībai;

gR – pusvadītāju globālā aizsardzība un taisngriežu iekārtu aizsardzībai,

aR – pusvadītāju lokālā aizsardzība;

gB – paredzēti kalnu rūpniecības iekārtām.

Laikstrāvas raksturlīknes salīdzinājums dažādas lietošanas klases drošinātājiem paradīts 3.8. attēlā.

|  |  |
| --- | --- |
| 3.8. att. Dažādas lietošanas klases  drošinātāju laikstrāvas raksturlīknes |  |

Drošinātāji ir ar divu veidu stāvokļa indikatoriem – sarkana podziņa, kas izlido, ja drošinātāja kūstošais elements ir pārdedzis vai karodziņš, kas darbojas pēc līdzīga principa. Līdz ar to ir viegli noteikt bojājuma vietu un ieekonomējas patērējamais darba laiks. Šiem drošinātājiem nav izveidota aizsardzība pret pieskaršanos, jo tos ir paredzēts uzstādīt elektroiekārtās, ko apkalpo kvalificēti elektrospeciālisti; tos nedrīkst ap­kalpot elektriķi amatieri.

**Drošinātāji gG (gM, gL) tipa.** Faktiski kūstošā elementa pārdegšana notiek ar zināmu laika izkliedi ±Δt, kas veido drošinātāja nostrādes zonu.Standartā izmantonosacīto nekušanas strāvu Inf un nosacīto kušanas strāvu I2 (3.9. att. un 3.1. tabula).

*Piemērs:*Ja caur drošinātāju ar nominālo strāvu32 А ilgstoši plūst strāva 1,25∙In (40 А), tad drošinātāja ieliktnis nevar izkust 1 stundas laikā (2.2. tabula).

Nosacītā kušanas strāva I2 (3.9. att.) – ir strāva, kurā iedarbības rezultātā notiek drošinātāja ieliktņa kušana pirms noteiktā laika.

*Piemērs:*Ja caur drošinātāju ar nominālo strāvu32 А ilgstoši plūst strāva 1,6∙In (52,1 А), tad drošinātāja ieliktnis izkust 1 stundas laikā vai ātrāk (3.1. tabula).

Atbilstoši standartam IEC 60269-1 reāla drošinātāja raksturlīknei jāatrodas starp līknēm 1 un 2 3.9. attēlā.

3.1. tabula

**Zemsprieguma drošinātāju gG un gM nostrādes zona**

**(standarts IEC 60269-1 и 60269-2-1)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Nominālā strāva**  **In, А** | **Nosacītā nekušanas**  **strāva, Inf** | **Nosacītā kušanas**  **strāva, I2** | **Nosacīts laiks,**  **h** |
| In ≤ 14A | 1,5 In | 2,1 In | 1 |
| 4 < In < 16A | 1,5 In | 1,9 In | 1 |
| 16 < In ≤ 63 А | 1,25 In | 1,6 In | 1 |
| 63 < In ≤ 160A | 1,25 In | 1,6 In | 2 |
| 160 < In ≤ 400 А | 1,25 In | 1,6 In | 3 |
| 400 > In | 1,25 In | 1,6 In | 4 |

*Piezīme.* Drošinātājs gM faktiski ir gG tipa drošinātājs, bet gM tipa drošinātāju raksturo divas strāvas: nominālā strāva In un strāva Ich. Strāvas Ich vērtība izvēlēta tā, lai izturēt dzinēja palaišanas strāvu. Piemēram, drošinātājs 32 M 63 (t.i., In M Ich) izgatavots nominālai strāvai In = 32 A, bet raksturlielumi analoģiski gG tipa drošinātājiem ar nominālo strāvu 63 A, tātad viņš var funkcionēt pie palaišanas strāvas Ich = 63 A. Drošinātājs gM tipa aizsarga dzinēju pret īsslēguma strāvām, bet neaizsarga pret pārslodzi un viņu var pielietot tikai kopa ar termoreleju. Salīdzinājumā ar drošinātājiem aM tipa gM tipa drošinātājs ir lētāks un mazāks pēc gabarītiem.

|  |  |
| --- | --- |
| 3.9. att. Drošinātāja gG un gM laikstrāvas raksturlīkne: 1 - nosacītā nekušanas strāva Inf; 2 - nosacītā kušanas strāva I2 (standarts IEC 60269-1 un 60269-2-1) | 3.10. att.Drošinātāji aM tipa laikstrāvas raksturlīknes: 1 - minimāla laika līkne līdz elektriskā loka rašanas; 2 - drošinātāja ieliktņa kušanas līkne. |

Nosacītā nekušanas strāva Inf – tā ir lielākā strāva, kas neizraisa elementa pārdegšanu noteiktā laikā. Šis laiks tiek reglamentēts atkarībā no In, un ir robežās no 1 līdz 4 stundām (3.1. tab.).

**Drošinātāji aM tipa elektrodzinēju aizsardzībai.** Drošinātāji aM tipa nodrošina aizsardzību tikai no īsslēguma. Drošinātājus aM tipa var pielietot tikai ar komutācijas aparātiem, kas aizsarga no pārslodzēm, ja strāvas I ≥ 4∙In. Drošinātāju aM tipa laikstrāvas raksturlīknes dotas tikai īsslēguma strāvām (3.10. att.) un sākas, ja strāvas ir apmēram 4∙In. Reāla drošinātāja darba raksturlīknes atrodas 3.10. attēla zonā starp līknēm 1 un 2 (IEC 60269).

**Drošinātāja nominālā atslēgtspēja īsslēguma gadījumā.** Īsslēguma strāvas ierobežošanas raksturs redzams 3.11. attēlā, kur ir parādīti ierobežojumi dažādām atslēgšanas ātrdarbībām. Atslēdzot strāvu momentāni pirms maksimālās vērtības sasniegšanas, īsslēguma strāva tiek ierobežota, kas pasargā iekārtu no nevēlamās termiskās un elektromehāniskās iedarbības (3.11. att.). Tāpēc drošinātāja nominālā atslēgtspēja ir atkarīga no īsslēguma strāvas periodiskās komponentes.

Ņemot vērā kūstošā elementa īso pārdegšanas laiku, ja uz to iedarbojas pietiekami liela īsslēguma strāva, silšanas procesu (3.12. att.), kura gaitā notiek kūstošā elementa sakaršana, kušana un iztvaikošana, var uzskatīt par adiabātisku.

Strāvu ierobežojošie drošinātāji, pateicoties intensīvai loka dzēšanai, pārtrauc īsslēguma strāvu, kamēr tā vēl nav sasniegusi triecienstrāvas aplēses vērtību (itr.apl 3.13. att.). Laikā t1 pārslodzes vai īsslēguma strāva izkausē kūstošo elementu, kam seko metāla iztvaikošana. Tā kā metāla tvaiki sākumā ir vāji jonizēti, tad loka spraugas pretestība ir ievērojama, un strāva drošinātāja ķēdē strauji samazinās (laiks t2). Tieši šajā laikā veidojas pārspriegums, kura maksimālā vērtība udr.maks var vairakkārt pārsniegt tīkla sprieguma amplitūdas vērtību. Taču šāds stāvoklis neturpinās ilgi – sākas termiskā jonizācija un strāvas samazināšanās (laiks t3), kas savukārt samazina pārspriegumu. Pēc laika t kopš īsslēguma sākuma loks ir pilnīgi nodzisis, un strāva īsslēguma ķēdē pārtraukta. Starp drošinātāja kontaktiem iestājas nomināls tīkla spriegums udr = ut (3.13. att.).

|  |  |
| --- | --- |
| 3.11. att. Drošinātāja atslēgtspēja (strāvas ierobežojums): 1- īsslēguma laikā gaidāma maksimāla strāva; 2 – īsslēguma strāvas periodiskā komponente; 3 - ar drošinātāju ierobežota īsslēguma strāvas vērtība; tS - drošinātāja ieliktņa kušanas laiks līdz loka rašanas momentam; tV - loka pastāvēšanas laiks; tt – īsslēguma summārais atslēgšanas laiks | 3.12. att. Drošinātāja kūstošā elementa pārdegšanas procesa attēlojums laikā: tsilš1 - kūstošā elementa primārās silšanas laiks; tkuš – kūstošā elementa kušanas laiks; tsilš2 - kūstošā elementa sekundārās silšanas laiks; tiztv - kūstošā elementa iztvaikošanas laiks; tloka - loka degšanas laiks; t - drošinātāja nostrādes laiks; |

Īsslēguma sākumā strāvas nemainīgas komponentes amplitūda un ilgums atkarīgi no bojāta ķēdes daļas attiecības XL/R. Barošanas avota tuvumā (pazeminošs transformators) sakarība Ipeak/Irms – īsslēguma strāvas periodiskās komponentes sākuma vērtība pret lielāko efektīvo vērtību var sasniegt 2,5, kas reglamentēts standartā (3.14. att.). Ipeak – strāvas amplitūdas vērtība, Irms – strāvas efektīva vērtība.

|  |
| --- |
|  |

3.13. att. Kustoša elementa pārdegšanas process: ik - sagaidāmā īsslēguma strāva; Ip0 apl - īsslēguma strāvas periodiskās komponentes efektīvā aplēses vērtība; *itr f* - īsslēguma faktiskā triecienstrāva; itr.apl - īsslēguma aplēses triecienstrāva; isļ - slodzes strāva; tsilš1 - kūstošā elementa primārās silšanas laiks; tkuš – kūstošā elementa kušanas laiks; tsilš2 - kūstošā elementa sekundārās silšanas laiks; tiztv - kūstošā elementa iztvaikošanas laiks; tloka - loka degšanas laiks; t - drošinātāja nostrādes laiks; udr - spriegums uz drošinātāja; udr.maks – maksimālais pārspriegums uz drošinātāja; ut - spriegums tīklā; φ — strāvas un sprieguma nobīdes leņķis;

Patērētāju tuvumā induktīva pretestība XL daudz mazāka par aktīvo R un attiecība Ipeak / Irms = 1,41 raksturīga maiņstrāvai (sk. 3.11. att.).

Ierobežojuma efekts parādās tikai tad, ja īsslēguma periodiskā komponente sasniedz noteikto vērtību. Piemēram, drošinātājs uz nominālo strāvu 100 A var atslēgt īsslēguma strāvas amplitūdas vērtību, ja īsslēguma strāvas periodiskā komponente sasniedz vērtību 2 kA (sk. 3.14. att. punktu *a*). Bet, ja īsslēguma strāvas periodiskā komponente sasniedz vērtību 20 kA, tas pats drošinātājs var ierobežot īsslēguma strāvas amplitūdas vērtību 10 kA (3.14. att. punkts *b*). Bez drošinātāja īsslēguma strāvas amplitūdas vērtība var sasniegt jau 50 kA (3.14. att. punkts *c*).

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.14. att. Īsslēguma strāvas ierobežojumu  raksturlīknes |

Komutējamā sprieguma augstākās robežvērtības uzrāda atkarībā no drošinātāju nominālā sprieguma (sk. 3.2. tab.). Pieļaujamo komutējamo spriegumu augstākās vērtības kūstošiem ieliktņiem ar nominālo strāvu mazāku par 10 A vai vienādu ar 10 A ir starptautiski noteiktas. Kūstošā ieliktņa komutējamais spriegums samazinās, ja samazinās darba spriegums. Jāievēro, lai kūstošā ieliktņa komutējamais sprie­gums nepārsniegtu iekārtas izolācijas pieļaujamo spriegumu.

Drošinātājus izgatavo pēc nominālo strāvu skalas:

In = 2; 4; 6; 10; 16; 20; 25; 32; 35; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250 A.

3.2. tabula

**Drošinātāju komutējamie spriegumi pēc DIN 57636**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Kustoša ieliktņa nominālais spriegums**  **UN.kom. , V** | **Komutējama sprieguma maksimālās vērtības, V** | |
| Maiņspriegums un līdzspriegums | | |
| līdz 300 | 2000 |
| 301 līdz 660 | 2500 |
| 661 līdz 800 | 3000 |
| 801 līdz 1000 | 3500 |
| Līdzspriegums | |
| 1001 līdz 1200 | 3500 |
| 1201 līdz 1500 | 5000 |
| 1501 līdz 3000 | 10000 |

**3.2.2. DIAZED, NEOZED, SILIZED UN „D” TIPA DROŠINĀTĀJI**

Zemsprieguma vītņotais drošinātājs ir viena no vecākajām drošinātāju konstrukcijām. Tos plaši lieto mājsaimniecībās apgaismes tīkla un nelielu elektropatērētāju ķēžu aizsardzībai. Pēc Latvijas valsts standarta LVS HD 60269-3-1:2005 šāda veida drošinātājus sauc par D tipa drošinātājiem (no angļu valoda - D-type fuses). Praksē un literatūrā tos bieži sauc arī par DIAZED drošinātājiem. Minētajam drošinātāju tipam ir izveidots jaunāks nedaudz kompaktāks apakštips D0, kuru literatūrā pazīst arī ar apzīmējumu NEOZED (NEO no latīņu valodas jauns, ZED saglabāts no nosaukuma DIAZED).

**Drošinātāja uzbūve un sastāvdaļas.** Izgatavo atbilstoši standarta IEC 269 prasībām. DIAZED un NEOZED drošinātāju uzbūve dota 3.15. attēlā. Drošinātāja ieliktņa 3 korpuss ir veidots no keramikas materiāla. Tā abus galus noslēdz metāla daļa 4 un 5. Šīs metāla daļas vienlaikus kalpo arī kā kontaktdetaļas. Drošinātāja ieliktņa augšējā metāla daļā 4 ir iestrādāts nostrādes indikators. Tā krāsa norāda uz drošinātāja elementa nominālo strāvu. Drošinātāja ieliktnis 3 tiek ievietots keramikas galvā 1, kura ir aprīkota ar metāla vītni 2. Keramikas galvas augšpusē ir iestrādāts stikliņš, kas ļauj novērot nostrādes indikatora stāvokli un krāsu ekspluatācijas laikā. Keramikas galvu kopā ar drošinātāja ieliktni ieskrūvē pamatnes 8 metāla vītnē 9. Elektriskās ķēdes barotājvads tiek pieslēgts spailei 10, bet patērētāja ķēde pieslēgspailei 11. Lai paaugstinātu drošību pret pieskaršanos spriegumaktīvām daļām, pieslēgspailes un metāla vītni nosedz izolācijas vāks 7. Katram drošinātājam ir savs pieļaujamais strāvas stiprums, ko var vadīt tā kontaktdetaļas. Lai nepieļautu iespēju drošinātājā ievietot ieliktni ar lielāku nominālo strāvu nekā ir pieļaujams konkrētajam drošinātājam, lieto kontaktgredzenu 6. DIAZED drošinātājiem kontaktgredzenu pamatnē iestiprina ar kontaktgredzena vītni 6.1. NEOZED drošinātājiem šādas vītnes nav.

DIAZED un NEOZED drošinātājus ražo vairākām drošinātāja nominālajām strāvām  
un tām atbilstošiem cokola izmēriem (3.3. un 3.4. tabula).

Skrūvējot drošinātāju, apkalpes personāls ir pasargāts no saskaršanās ar metāliskām daļām, kas ir zem sprieguma. Kūstošais elements ir novietots porcelāna cilindrā ar kontakta uzgali. Ja pārdeg kūstošais elements, pārdeg arī nostrādes signalizatora stieplīte un atspere izmet signalizatoru no ligzdas. Tādā veidā apkalpes personāls var konstatēt, ka drošinātājs ir nostrādājis.

3.3. tabula

**D tipa drošinātāju galvenie raksturlielumi**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tips** | **Cokola izmērs** | **In iel.,A** | **In dr. A** | **Un dr., V** | **Iatsl., kA** |
| DI | E16 | 2-25 |  | 500 |  |
| DII | E27 | 2-25 | 25 | 500 | >50 |
| DIII | E33 | 35-63 | 63 | 500 | >50 |
| DIV | E44\* | 80-100 | 100 | 500 | >50 |

\* - no Edisona vītnes atšķirīga vītne

3.4. tabula

**D0 tipa drošinātāju galvenie raksturlielumi**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tips** | **Cokola izmērs** | **In iel.,A** | **In dr. 5 A** | **Un dr., V** | **Iatsl., kA** |
| D01 | E14 | 2-16 | 16 | 400 | >50 |
| D02 | E18 | 20-63 | 63 | 400 | >50 |
| D03 | E32\* | 80-100 | 100 | 400 | >50 |

\* - no Edisona vītnes atšķirīga vītne

Drošinātāja ieliktņa korpuss 3 ir cilindrisks un veidots no materiāla ar augstu termisko izturību (keramikas). Tā vidū ir kūstošais elements, kuru ieskauj kvarca smilšu pildījums. Kūstošais elements ir piestiprināts pie drošinātāja ieliktņa augšējās un apakšējās metāla daļas 4 un 5, veidojot ar tām kontaktu. Drošinātāja ieliktņa augšējā metāla daļā 4 ir iestrādāts nostrādes indikators. Pirms kūstošais elements ir pārdedzis, indikatora atsperīti noslogo indikatora stieplīte. Kad elements pārdeg, stieplīte atbrīvo atsperi un nostrādes indikators tiek izstumts uz āru. Nostrādes indikatora krāsa norāda uz drošinātāja elementa nominālo strāvu.

|  |
| --- |
|  |

3.15. att. D un D0 tipa drošinātājs: *a-e*  - DIAZED tipa drošinātājs (D); *f* - NEOZED tipa drošinātājs (D0); 1 - keramikas galva; 2 – keramikas galvas metāla vītne; 3 - drošinātāja ieliktnis; 4 - drošinātāja ieliktņa augšējā metāla daļa; 5 – drošinātāja ieliktņa apakšējā metāla daļa; 6 - kontaktgredzens; 6.1 - kontaktgredzena vītne; 7 - izolācijas vāks; 8 - pamatne; 9 - pamatnes metāla vītne (cokols); 10 - pienākošā (barotājvada) pieslēgspaile; 11 - patērētāju ķēdes pieslēgspaile.

D tipa drošinātāju kūstošie elementi ir veidoti, kā plāna vara vai tā sakausējuma plāksnīte.

Nominālais spriegums DIAZED drošinātājiem AC 400 V/DC 250 V, AC 500 V/DC 500 V un nominālais strāvu diapazons 0,5 – 200 A. Standarti **DIN VDE 0636-301, CEE 16 и IEC 60269-3-1**. Pēc izmēra „D” tipa drošinātājiem ir trīs markas: **DI - 50x13 mm (3.15. att. *c*), DII - 50x27 mm (3.15. att. *d*) и DIII - 50x33 mm (3.15. att. *e*)**.

Pēc laikstrāvas raksturlīknes arī ir trīs „D” tipa drošinātāju markas:

* ar laika aizturi (slow type), marķējums **aM, gL/gG, gL/gl, TDZ** vai stilizētais gliemezis;
* bez laika aizturi, marķējums **F, flink**;

- ātrdarbīgie (**ultra rapid)** marķējums uberflink, silized, FF, gR, DZ vai dioda grafiskais apzīmējums.

NEOZED nominālais spriegums AC 415 V/DC 250 V un nominālo strāvu diapazonam 2 – 100 A. Nominālā atslēgtspēja 50 кА (AC 415 V) un 8 кА (DC 250 V). Drošinātājus izmanto apgaismes tīklu un nelielas jaudas elektrodzinēju aizsardzībai.

Drošinātājus **SILIZED** izmanto energoelektronisko iekārtu aizsardzībai.

**3.2.3. VIDĒJA SPRIEGUMA DROŠINĀTĀJI**

Atbilstīgi starptautiskajiem standartiem sprieguma diapazonu no 1 kV līdz aptuveni 100 kV dēvē par vidējo spriegumu. Saskaņā ar šo principu Latvijā vidējam spriegumam atbilst 6 kV, 10 kV un 20 kV, bet augstspriegums sākas ar 110 kV, kurā kūstošos drošinātājus vairs neizmanto.

Vidēja sprieguma spēka drošinātāji ir paredzēti vidēja sprieguma iekārtu (vadu, transformatoru, motoru, kondensatoru bateriju) aizsardzībai pret īsslēguma strāvas vai lielas pārslodzes strāvas nepieļaujamu termisko iedarbību. Pateicoties šo drošinātāju vienkāršajai montāžai un mazajiem izmēriem, tie kļūst par lielisku risinājumu gadījumos, kad cita veida aizsardzības izmantošana rada lielas izmaksas.

Turpmāk aplūkosim HH un ПK sērijas drošinātājus. HH drošinātāju konstrukcija un darbības princips ir līdzīgs ПK sērijas drošinātāja konstrukcijai un darbības principam. To kopskats ir paradīts 3.16. attēlā.

|  |
| --- |
|  |

3.16. att. Vidēja sprieguma drošinātāji: *a* - HH sērijas drošinātājs ar EFEN firmas ieliktni; *b* - ПK sērijas drošinātājs; 1 - balstizolators ; 2 - elektroķēdes pieslēgspaile ; 3 - gala vāks; 4 - balstizolatorā nostiprināta kontaktdetaļa (lūpas); 5 - saspiedējatspere; 6 - drošinātāja ieliktņa korpuss; 7 - pamatne.

Drošinātājs ir izveidots no metāla pamatnes 7, kurai ir piestiprināti balstizolatori 1 ar kontaktdetaļām 4. Drošinātāja ieliktņa 6 gala vāki 3 veido kontaktu ar balstizolatoros nostiprinātām kontaktdetaļām 4. Drošinātāju ieslēdz tīklā, izmantojot elektroķēdes pieslēgspailes 2. Lai papildus nodrošinātos pret ieliktņa izkrišanu un nodrošinātu labāku kontaktsavienojumu, atsevišķas ražotājfirmas piedāvā saspiedējatsperi 5.

Drošinātāja balstizolatoros nostiprinātajās kontaktdetaļās 4 var uzstādīt tikai tādus drošinātāja ieliktņus, kuru nominālā strāva ir vienāda vai mazāka par drošinātāja nominālo strāvu.

|  |
| --- |
|  |

3.17. att. HH un ПK sērijas drošinātāja ieliktņi: a - HH sērijas drošinātāja ieliktņa garengriezums, b - HH sērijas drošinātāja ieliktņa šķērsgriezums; c - ПK sērijas drošinātāja ieliktnis strāvai līdz 7,5 A; d - ПK sērijas drošinātāja ieliktnis strāvai virs 7,5 A; I - drošinātāja ieliktņa korpuss (porcelāna caurule); 2 - rievots porcelāna serdenis, 3 – kūstošais elements, 4 - kvarca smiltis, 5 - nostrādes indikatora stieple; 6 - nostrādes indikators; 7 - gala vāks; 8 - metāla aptvere alvas lodīte; D.E - izmēri doti 2.6. tabulā.

Mūsdienās vidsprieguma drošinātāja ieliktņu piedāvājums ir plašs un daudzveidīgs. Neskatoties uz to, ka katra firma izstrādā drošinātājus neatkarīgi no citām firmām, piedāvāto drošinātāju konstrukcijas būtiski neatšķiras. 3.17. attēlā ir parādīti rietumvalstīs ražotā HH un NVS valstīs ražotā ПK sērijas ieliktņa griezumi.

Ieliktņa korpusu 1 veido glazēta porcelāna caurule (ar ļoti augstu mehānisko un termisko izturību) uz kuras galiem hermētiski nostiprināti gala vāki 7. Tie veic kontaktu funkciju un aizsargā drošinātāja ieliktnī esošos elementus no apkārtējās vides iedarbības. Maināmā ieliktņa iekšpusē atrodas sudraba vai vara kūstošais elements 3, kas ir uztīts uz rievota porcelāna serdeņa 2 vai brīvi ievietots smilšu pildījumā. Kūstošā elementa 3 gali ir pieslēgti gala vākiem 7. Labākai siltuma novadīšanai no kūstošā elementa un loka dzēšanas apstākļu uzlabošanai, drošinātāja ieliktni aizpilda ar kvarca smiltīm 4. Ieliktņa konstrukcijā ir paredzēts nostrādes indikators 6. Drošinātāja ieliktnī ir ierīkota nostrādes indikatora turētājstieple 5, kas ir piestiprināta nostrādes indikatoram. Pārdegot šai stieplei, indikators atbrīvojas un atsperes iedarbības rezultātā tas tiek izgrūsts no drošinātāja ieliktņa.

Dažu tipu vidēja sprieguma drošinātājiem, kurus paredzēts lietot kopā ar slodzes slēdzi, nostrādes indikators apvienots ar īpašu mehānismu - belzni (3.18. att.), kas, pārdegot drošinātājam vienā fāzē, iedarbojas uz slodzes slēdža atslēdzējmehānismu, nodrošinot slodzes ķēdes visu trīs fāžu atslēgšanu. Spēku, ar kādu belznim jāiedarbojas uz atslēdzējmehānismu, reglamentē standarts IEC 60282-1.

3.5. tabula

**Maināmā ieliktņa izmēra D un E atkarība no drošinātāja nominālā sprieguma.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Un dr, kV** | **D, mm** | **E, mm** |
| 6 | 192 | 33 |
| 10 | 292 | 33 |
| 20 | 442 | 33 |
| 35 | 537 | 33 |

Vidēja sprieguma drošinātājiem vispiemērotākais kūstošā elementa materiāls ir sudrabs. Tam ir ļoti laba vadītspēja un nemainīgas īpašības paaugstinātā temperatūrā.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.18. att. HH drošinātāja ieliktņa nostrādes indikators ar belzni: 1 - kūstošais elements; 2 - indikatora stieplīte; 3 - indikatora atspere; 4 - nostrādes indikators veselam kūstošajam elementam; 5 - nostrādes indikators pārdegušām kūstošajam elementam. |

**3.2.4. DROŠINĀTĀJU IZVĒLE**

Drošinātāju uzdevums ir pasargāt elektroenerģijas patērētājus, vadus un kabe­ļus no īsslēguma strāvu un pārslodzes strāvu iedarbības. Asinhroniem elektrodzinējiem ar īsslēgtu rotoru palaišanas brīdī strāvas ir 3,5-7,5 reizes lielākas par elektrodzinēju nominālām strāvām, tāpēc drošinātāju ieliktņu nominālās strāvas jāizvē­las, ievērojot elektrodzinēju palaides strāvas. Līdz ar to drošinātājs var aizsargāt elektrodzinējus ar īsslēgtu rotoru tikai no īsslēguma strāvām un nevar aizsargāt pār­slodzes gadījumā. Asinhronam dzinējam ar fāžu rotoru palaišanas brīdī strāvas ir ievērojami mazākas un kūstošo ieliktņu nominālo strāvu nosaka šādi:

In.iel. ≥ (1,0-1,25) IN.dz. , (3.5)

kur IN.dz — elektrodzinēja ar fāžu rotoru nominālā strāva.

Ja pārslodze ir neliela, drošinātājs neaizsargā arī asinhrono elektrodzinēju ar fāžu rotoru no pārslodzes, bet tikai no īsslēguma.

Drošinātāja kūstošā ieliktņa pārdegšanas laiks var atšķirties pat par 50 % no tā pārdegšanas laika, kas dots rokasgrāmatās vai katalogos, jo drošinātāja kvalitāte un apkārtējās vides temperatūra ekspluatācijas laikā mainās. Tāpēc praksē lieto jutī­gākas aizsardzības ierīces, bet drošinātājus izmanto tikai mazāk atbildīgu elektro­enerģijas patērētāju aizsardzībai.

Drošinātājus izvēlas, ievērojot šādus nosacījumus.

1. Drošinātāja nominālam spriegumam *UN.dr.* jābūt lielākam vai vienādam ar tīkla nominālo spriegumu *UN.t.*

*UN.dr. ≥ UN.t.* . (3.6)

2. Apgaismes tīklā kūstošā ieliktņa nomināli strāvai *IN.iel.* jābūt lielākai vai vienādai ar aplēses strāvu *Iapr.*, ievērojot drošuma koeficientu *Kdr*.

*IN.iel. ≥ Kdr Iapr.* , (3.7)

kur *Kdr.* = 1, ja drošinātājs aizsargā apgaismes elektriskā tīkla posmu, kas baro gaismekļus ar kvēlspuldzēm vai sildierīces;

*Kdr.* = 1,25, ja drošinātājs aizsargā elektriskā tīkla posmu, kas baro gaismekļus ar luminiscences spuldzēm;

*Kdr.* = 1,1, ja drošinātājs aizsargā elektriskā tīkla posmu, kas baro gaismekļus ar dzīvsudraba loka spuldzēm.

3. Asinhrona elektrodzinēja ar īsslēgtu rotoru aizsardzībai drošinātāja kūstoša ieliktņa nominālai strāvai *IN.iel.* jābūt lielākai vai vienādai ar tā palaišanas strāvu *Ipal*, dalītai ar empīrisku koeficientu (pārslodzes) *Kpārsl.*

 (3.8)

kur *Kpārsl.* = 1,6-2,5 (ja elektrodzinējs iegriežas ātrāk par 4 s, tad Kpārsl. = 2,5, ja iegriežas 5-10 s, tad *Kpārsl.* = 1,6-2).

Precīzāku rezultātu iegūst, izmantojot drošinātāja laikstrāvas raksturlīkni.

4. Ja drošinātājs aizsargā elektrisko tīklu (3.19. att.), elektriskā tīkla vadu vai kabeļu pie­ļaujamai strāvai *Ip* jābūt lielākai vai vienādai ar *IN.iel.*, dalītai ar koeficientu *Kaiz*

 (3.9)

Gg tipa drošinātājiem: *Kaiz* = 1,31, ja drošinātāja nomināla strāva In < 16А; *Kaiz* = 1,10, ja drošinātāja nomināla strāva In ≥ 16А.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.19. att. Elektriskā tīkla aizsardzība ar drošinātājiem: 1- izolēto kabeļu vai vadu termiskās izturības raksturlīkne; 2 – drošinātāja laikstrāvas raksturlīkne; 3 – elektrodzinēja palaišana |

5. Ja drošinātājs aizsargā maģistrāllīniju, kas baro vairākus elektrodzinējus, drošinātāja kūstošā ieliktņa nominālai strāvai IN.iel jābūt lielākai vai vienādai ar aprēķina strāvu

 (3.10)

kur *K*0 — vienlaicības koeficients, kas norāda, kāda daļa no visiem elektrodzinējiem strādā; (ja visi elektrodzinēji strādā, *K*0 = 1, bet pārējos gadījumos *K*0 var noteikt aptuveni atkarībā no elektrodzinēju skaita, izmantojot 3.6. tabulas datus);

 — darbojošos elektrodzinēju darba strāvu summa, kad palaiž to elektrodzinēju, kuram attiecība *Ipal.*/*Kpārsl.* ir vislielākā.

3.6. tabula

**Vienlaicības koeficients *K*0 atkarībā no elektrodzinēju skaita**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Elektrodzinēju**  **skaits** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **15** | **20** |
| **K0** | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,61 | 0,55 | 0,5 | 0,47 | 0,44 | 0,35 | 0,31 |

6. Drošinātāju maksimālai atslēgtspējai jābūt lielākai vai vienādai ar maksimālo trīsfāžu īsslēguma strāvu

 (3.11)

7. Lai drošinātāju aizsardzība būtu selektīva, virkne slēgtus drošinātājus izvēlas šādi: skaitot no elektroenerģijas patērētāja puses, katra nākamā drošinātāja kūstošā elementa nominālai strāvai jābūt par vienu pakāpi augstākai. Drošinātāja darbības selektivitāte jāpārbauda arī trīsfāžu īsslēgumā (kad īsslēguma strāvai ir maksimālā vērtība). Jo var būt tādi gadījumi, kad pie lielām īsslēguma strāvām pārdeg vairāki virknē slēgtie drošinātāji.

PN-2 tipa drošinātāju kūstošos ieliktņus izvēlas selektīvi, ja aprēķina trīsfāžu īs­slēguma strāvu un pārbauda, vai katras nākamās pakāpes drošinātāju kūstošā ieliktņa nominālā strāva ir vienāda vai lielāka, izmantojot 3.7. tabulas datus.

Piemēram, ja trīsfāžu īsslēguma strāva Ik(3) ir 50 reizes lielāka par drošinātāja kūstošā elementa nominālo strāvu IN.iel. un elektroenerģijas patērētāja aizsardzībai uzstādīts 30 A kūstošais elements, nākamajam drošinātāja kūstošam elementam, kas slēgts virknē, jābūt vismaz 120 A.

3.7. tabula

**Virknē slēgtu PN-2 drošinātāju kūstošo elementu izvēle**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **IN.iel., A**  **(drošinātājs vistuvāk patērētājam)** | **I N.iel., A**  **(nākamais drošinātājs, skaitot no patērētāju puses)** | | | | |
| 30 | 50 | 60 | 120 | 150 | 200 |
| 40 | 60 | 80 | 120 | 200 | 200 |
| 50 | 80 | 100 | 120 | 250 | 250 |
| 60 | 100 | 120 | 150 | 250 | 250 |
| 80 | 120 | 120 | 200 | 250 | 250 |
| 100 | 120 | 120-150 | 250 | 250 | 250 |
| 120 | 150 | 200 | 300 | 300 | 300 |
| 150 | 200 | 250 | 300 | 300 | 300 |
| 200 | 300 | 350 | 400 | 400 | 400 |
| 250 | 350 | 400 | 600 | >600 |  |
| 300 | 400 | 600 | >600 |  |  |

8. Pārbaude: fāzes vada un nullvada šķērsgriezumam jābūt tādam, lai pieļaujamā vienfāzes īsslēguma strāva būtu vismaz trīs reizes lielāka par drošinātāja kūstoša ieliktņa nominālo strāvu

*Ik*(1) ≥ 3·*IN.iel*.. (3.12)

bet sprādziennedrošās zonās

*Ik*(1) ≥ 4·*IN.iel.*. (3.13)

Šo nosacījumu var neievērot, ja tīkli jāaizsargā tikai no īsslēguma, izņemot lauku elektriskos tīklus un komunālos tīklus, kuriem ir ievērojams garums, kā arī gadījumos, kad īsslēguma strāva ir vismaz trīs reizes lielāka par vada vai kabeļa pieļaujamo strāvu no silšanas viedokļa

*Ik*(1) ≥ 3 *Ipieļ.*. (3.14)

No pārslodzes jāaizsargā vadi vai kabeļi ar degošu ārējo apvalku vai izolāciju, ja tie novietoti atklāti, kā arī vadi un kabeļi apgaismošanas tīklos tirdzniecības telpās, rūpniecības uzņēmumu administratīvās un sadzīves telpās (ieskaitot gludekļu, šuj­mašīnu, elektrisko plītiņu, ledusskapju, pārnesamo elektroenerģijas lietotāju pie­slēgšanai paredzētos elektriskos tīklus), dzīvojamās un sabiedriskās ēkās.

Spēka tīklos uzstādītie vadi un kabeļi jāaizsargā no pārslodzes, ja tie uzstādīti rūpniecības uzņēmumos, dzīvojamās un sabiedriskās ēkās, tirdzniecības telpās, tikai tādos gadījumos, ja ir tāds tehnoloģiskais process vai darba režīms, kad var rasties pārslodze.

No pārslodzes un īsslēguma jāaizsargā vadi un kabeļi spēka, apgaismošanas, sekundāro ķēžu elektriskos tīklos, kuri uzstādīti V-I, V-Ia, V-II, V-IIa klases sprā­dziennedrošās zonās, bet V-Ib un V-Ig klases sprādziennedrošās zonās vadu un ka­beļu aizsardzība jāveido kā sprādziennedrošās ietaisēs.

**3.3. AUTOMĀTSLĒDŽI**

Automātslēdži ir elektriski aparāti, kas paredzēti līdzstrāvas vai maiņstrāvas ķēžu aizsardzībai nenormālos darba režīmos (nepieļaujami liela pārslodze, īsslēgums, sprieguma pazemināšanās), retai (līdz 30 reizēm diennaktī) elektrisko ķēžu atslēg­šanai un ieslēgšanai normālos darba režīmos. Automātslēdžos elektriskā loka dzēšanas vide ir gaiss, tāpēc literatūrā ir sasto­pams arī nosaukums automātiskie gaisa slēdži.

Automātslēdžiem izvirza šādas prasības.

1. Automātslēdža strāvu vadošai ķēdei jānodrošina nominālās strāvas caurlaide darba laikā;
2. Automātslēdzim jāiztur īsslēguma strāvas iedarbību noteikta laika gan ieslēgtā stāvoklī, gan elektriskās ķēdes pārtraukuma brīdī, nepārsniedzot pieļaujamo temperatūru;
3. Automātslēdzim jāatslēdz īsslēguma strāvas un nepieļaujami lielas pārslodzes strāvas, saglabājot darbspējas pēc īsslēguma strāvas vai pārslodzes strāvas izzušanas;
4. Automātslēdzim jābūt elektrodinamiski un termiski izturīgam, īsslēguma strāva jāatslēdz īsā laikā.
5. Automātslēdžiem jāstrādā selektīvi.

Rūpniecības automātslēdžus izgatavo atbilstoši IEC 60947 standartam. Sadzīves automātslēdžus izgatavo atbilstoši IEC 60898 standartam.

**3.3.1. AUTOMĀTSLĒDŽA DARBĪBAS PRINCIPS**

Lai izprastu automātslēdža darbības principu, apskata blokshēmu (3.20. att.). Iedarbes signāls Xied nonāk jutīgā mezglā JM (termoatkabnis, elektromagnē­tisks atkabnis, pusvadītāju atkabnis) un iedarbina brīvatkabes mehānismu BAM. BAM atbrīvo atslēdzošo atsperi jeb iedarbina atslēgšanas mezglu AM, kas pārtrauc elektrisko ķēdi, nostrādā izejas mezgls IM, t.i., pārtraucas darba kontakti. Brīvatkabes mehānismu var iedarbināt arī vadības signāls VS (ar roku nospiesta spiedpoga, tālvadības signāls caur elektromagnētu).

Automātslēdža funkcionāla shēma ar elektromagnētisko un siltuma atkabni parādīta 3.21. attēlā, bet tikai ar elektromagnētisko atkabni 3.22. attēlā. Viens no automāta pamatmezgliem ir vienpola, divpolu vai trīspolu slēdzis, kas apgādāts ar loka dzēšanas iekār­tām un atslēgšanas atsperēm. Slēdzis paredzēts darba un īsslēguma strāvu atslēgšanai.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.20. att.Automatslēdža blokshēma |

Automātu ieslēdzot, atslēgšanas atsperes tiek uz­vilktas. Slēdzi ieslēgtā un atsperes uzvilktā stāvoklī notur sprūds vai aizkrite, kuras aizkrišanu nodrošina sviru griežpāra šarnīrpunkta pāreja pāri līdzsvara stāvoklim līdz atdurei. Ja kontaktu spiediena spēks samazinās, slēdzis atsperu ietekmē ātri atslēdzas. Atslēgšanai vajadzīgs ne­liels spēks, ko var attīstīt elektromagnētisko vai termisko releju enkuri. Šādus tiešās darbības relejus, kurus iebūvē automātos, sauc par atslēdzēm. Automāta ieslēgšana ir saistīta ar atslēgšanas at­speru saspriegšanu, un tāpēc ieslēgšanai vajadzīgs lielāks spēks nekā atslēgšanai. Lai automatizētu ieslēgšanu, nepieciešama pie­dziņa ar papildu enerģijas avotu. Tādu piedziņu uzstāda lieliem automātiem, kuru ieslēgšanai vajadzīgs ievērojams spēks, un to pa­rasti izveido ar universālo kolektordzinēju vai ar elek­tromagnētu.

Vispārīgā gadījumā ar automātiem var veikt šādas komutācijas operācijas: operatīvo ieslēgšanu un atslēgšanu, avārijas atslēgšanu ar atslēdzi un automātisko ieslēgšanu ar elektrisko piedziņu. Savu­kārt operatīvo ieslēgšanu un atslēgšanu var veikt ar manuālās va­dības mehānismiem vai distancvadības automātiku. Atkarībā no auto­māta lieluma manuālai vadībai izmanto divus pogslēdžus, mēlītes vai roktura tipa sviras.

Ar brīvatkabes mehānismu ieslēdz kontaktus, notur tos ieslēgta stāvoklī līdz brīdim, kad saņem atslēgšanas signālu. Tad tas atbrīvo atslēdzošo atsperi (vai iedarbina citu atslēgšanas mehānismu) un kontakti atslēdzas.

|  |  |
| --- | --- |
| 3.21. att. Automāta ar temomagnētisko atkabni funkcionālā shēma: 1 — vadītāja cilpa elektrodinamiskajai kontaktu piespiešanai, 2 — loka dzēšanas kontakti, 3 — darba kontakti, 4 — lokans vads, 5 — bimetāla plāksnīte, 6 — papildpretestiba, 7 — sildelements, 8 — elektro­magnētiskā pārstravas atslēdze, 9 — mazsprieguma atslēdze, 10 — neatkarīgā at­slēdze, 11 —belznis (sprūda mehānisms), 12 — ieslēgšanas rokturis, 13 — elektromagnē­tiskā piedziņa, 14, 15 — brīvatkabes «lūsto­šās» sviras, 16 — kus­tīgo kontaktu svira, 17 — atslēgšanas at­spere, 18 — loka dzē­šanas kamera | 3.22. att. Automatslēdža ar elektromagnētisko atkabni uzbūve: 1  -  lokdzesēs kontakti; 2  -  spēka ķēdes (galvenie) kontakti; 3  -  kontaktu svira; 4  -  atspere; 5  -  brīvatkabes mehānisma sviras; 6  - atslēgšanas elektromagnēts; 7  -  rokturis; 8  -  ieslēgšanas elektromagnēts; 9  -  lokdzesēs kameras režģi |

Brīvatkabes mehānisma darbība 3.23. attēlā parādīta trīs dažādos stāvokļos: pirms automātslēdža ieslēgšanas, automātslēdzim ieslēgtā stāvoklī un automātslēdzim atslēgtā stāvoklī. Ja automātslēdzis ir ieslēgts, strāvas ķēde A1-A2 ir saslēgta šādi: nekustīgais kontakts 1, — kustīgais kontakts 2, — lokanais pievads 6, — elektromagnēta spole 7.

Lai ieslēgtu automātslēdzi (sk. 3.23. att. a), rokturis 10 jāpagriež pretēji pulksteņa rādītāja virzienam, tad svira 5 pārvieto kustīgo kontaktu un izstiepj atslēdzošo atsperi 4, saslēdz automātslēdža kontaktus 1 un 2. Ja strāva spolē 7 palielinās līdz noteiktai vērtībai, spole 7 ievelk enkuru 8, belznis 9 iedarbojas mehāniski uz sviru sistēmu punktā a, tās pārvietojas uz augšu un atspere 4 pārtrauc kontaktus 1 un 2 (3.23. att. c).

Automātslēdžus izgatavo ar vienu vai vairākiem atkabņiem. Atkabnis ir komu­tācijas aparāta elektromehāniskās sistēmas sastāvdaļa (mezgls), kas avārijas režīmā atbrīvo noturētājsprūdu un padara iespējamu komutācijas aparāta atslēgšanos vai ieslēgšanos.

Biežāk lietoto konstrukciju brīvatkabes mehānisms pēc avā­rijas atslēguma neatgriežas izejas stāvoklī. Rokas piedziņas mēlīte šādā gadījumā atrodas nedaudz zemāk kā ieslēgtam automātam. Tas ir *vizuāls signāls* par automātu nostrādi. Retos gadījumos auto­mātos uzstāda blokkontaktus, kas ir mehāniski saistīti ar piedziņu. Tos arī izmanto avārijas signalizācijai.

|  |
| --- |
| ***a b c*** |

3.23. att. Automatslēdža vienkāršotā kinemātiskā shēma: *a* — automātslēdzis atslēgtā stāvoklī; *b* — automātslēdzis ieslēgtā stāvoklī; *c* — automātslēdzis atslēgšanas momentā; 1 — nekustīgais kontakts; 2 — kustīgais kontakts; 3 — lokdzēses kamera; 4 — atslēgšanas atspere; 5 — brīvatkabes mehānisma sviras; 6 — lokans pievads; 7 — elektromagnēta spole; 8 — elektro­magnēta enkurs; 9 — belznis; 10 — rokturis; 11 — elektriskais loks

Visiem automātslēdžiem izveidota rokas piedziņa, lai operators varētu automātslēdzi ieslēgt un izslēgt manuāli. Lielas strāvas automātslēdžiem var izveidot elektro­magnētisko vai elektrodzinēju piedziņu, ir radīta iespēja automātslēdzi ieslēgt no distances ar elektromagnēta palīdzību.

Elektromagnētiskās piedziņas trūkums ir liels enkura kustības ātrums, kā re­zultātā rodas trieciens, kas izsauc kontaktu vibrāciju. Ja elektromagnētu baro no tā paša aizsargājamā tīkla, īsslēguma režīmā spriegums tīklā var samazināties līdz nul­lei un elektromagnēts nenostrādā.

Automātslēdžus atslēdz atslēdzējatsperes, kuras tiek saspriegtas ieslēgšanas laikā.

Ja izveido neatkarīgas darbības piedziņu, saspriegtā atsperē uzkrājas pietiekami liela enerģija. Pēc atslēgšanas signāla saņemšanas atbrīvojas atsperes aizture un automātslēdzis droši atslēdzas.

Ja automātslēdžu nominālā strāva ir lielāka par 1500 A, automātslēdžiem izveido elektrodzinēju piedziņu. Elektrodzinējs darbina automātslēdzi, izmantojot zobratu pārvadu. Ja atslēgšanas momentā tīklā izzūd spriegums, elektrodzinēja rotoram ir pietiekami liela inerces enerģija, lai atslēgtu automātslēdzi. Ieslēgšanas laikā nero­das triecieni, jo ātrums ir vienmērīgs.

Atkabnis kontrolē kādu aizsargājamās elektriskās ķēdes parametru, dod atslēg­šanas signālu ar laika aizturi vai bez tās, ja tiek pārsniegta šī parametra iestatītā vēr­tība. Lielas strāvas automātslēdžiem uzstāda arī minimālā sprieguma atkabni, kas atslēdz automātslēdzi, ja spriegums pazeminās zem nepieļaujamā lieluma. Ja ope­ratoram nepieciešams atslēgt automātslēdzi no distances, tad izmanto distances vai manuālo vadību. Dažādas sistēmas konfigurācijas ļauj ātri risināt jebkurus uzdevumus, izmantojot minimālu iekārtu daudzumu.

Elektriskās shēmās automātslēdžus parāda izvērstā veidā (3.24. att. *a*) vai vien­kāršoti (3.24. att. *b*), kur ar 1, 3, 5 apzīmētas automātslēdža spailes barošanas līnijas L1, L2, L3 pieslēgšanai, bet ar 2, 4, 6 — izejas spailes aizsargājamā objekta spaiļu T1, T2, T3 pieslēgšanai.

Rūpniecībā izgatavo dažādas konstrukcijas automātslēdžus, bet tiem visiem ir šādi galvenie mezgli: kontakti, lokdzēses ierīce, piedziņa, brīvatkabes mehānisms, atkabnis. Automātslēdža galvenie mezgli izpilda četras galvenās funkcijās:

1. Atslēgšanas mezgli ar kustīgiem un nekustīgiem kontaktiem un lokdzēses kameru, kas atslēdz tīklu avārijas darba apstākļos. Lokdzēses kon­takti ieslēdzas pirms un atslēdzas pēc darba kontaktiem;

2. bloķēšanas mehānisms, kas ieslēdzas nenormālos darba režīmos. Mehānisms sa-

vienots ar rokturi;

|  |
| --- |
| ***a b***  3.24. att.Trīsfāžu maksimālās strāvas automātslēdžu apzīmējumi shēmās: *a* — izvērstais; *b* — vienkāršotais |

3. Atkabņa izpildmehānisms ar sekojošiem aizsardzības ierīcēm:

* elektromagnētiskais atkabnis, kas iedarbojas tikai īsslēguma gadījumā;
* kombinētais atkabnis sastāv no elektromagnētiskā un siltuma atkabni. Ārzemju literatūrā viņu visbiežāk sauc par termomagnētisko atkabni. Siltuma atkabnis aizsarga pret pārslo-

dzi, bet elektromagnētiskais atkabnis aizsarga pret īsslēgumu;

* elektroniskais relejs, kas nodarbojas no mērtransformatoriem katrā fāzē.

4. Palīkontaktus izmanto lai palielināt automāta funkciju skaitu, piemēram, vadības un signalizācijas ķēžu komutēšanai.

**Lokdzēses kamera.** Elektriskajos aparātos, kuru uzdevums ir ieslēgt vai atslēgt elektriskās ķēdes, starp kontaktiem atslēgšanas procesā bieži rodas elektriskais loks. Tā kā katra elek­triskā ķēde satur induktivitāti *L* un kapacitāti *C*, tajā uzkrājas elektriskā enerģija



Šī enerģija izlādējas starp kontaktiem elektriskā loka vai dzirksteles veidā, kas izsauc kontaktdetaļu dilšanu un samazina aparāta resursu un drošumu.

Lai nodzēstu loku viņu vajag izstiept, tas nozīme jāpalielina loka garumu vismaz līdz tā kritiskajam garumam. Loka garumu var palielināt mehāniski izmantojot, piemēram, tiltiņa kon­taktus, kas veido divus ķēdes pārtraukumus. Tad pie kontaktu gājiena *δ* loks tiek izstiepts līdz *2δ*.

Loku var arī izstiept ar elektrodinamisko spēku palīdzību. Zināms, ka uz katru vadītāju, pa kuru plūst strāva (par tādu var uzskatīt elektrisko loku) un kas atrodas magnētiskajā laukā, darbojas elektrodinamiskais spēks. Tā virzienu var noteikt pēc kreisās rokas likuma. Šī spēka iespaidā loks tiek izstiepts. Tas pārvietojas ar noteiktu ātrumu v, kas proporcionāls magnē­tiskā lauka intensitātei *H* un strāvai lokā *I*



kur *k* — proporcionalitātes koeficients.

Loku dzēšanas kamerā ievelk ar elektrodinamisko spēku palīdzību. Lai samazinātu aero­dinamisko pretestību loka kustībai, sprauga sašaurinās pakāpeniski (3.25. att.). Ja jādzēš lielas strāvas loks, izmanto kameru ar vairākām paralēlām garenspraugām.

**3.3.2. AUTOMĀTSLĒDŽU RAKSTUROJOŠIE PARAMETRI.**

Automātslēdžiem uzrāda šādus tehniskos datus:

**1. Nominālais spriegums *Ue*** (*UN* ) — elektroiekārtas spriegums, līdz kādam automātslēdzi var uzstādīt;

**2.** **Automātslēdža nominālā strāva *In*** (*IN*) — ilgstoši pieļaujamā strāva automātslēdžu kontaktu sistēmai dotajai temperatūrai bez pārkāršanas, piemēram, 125 A pie 400C.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.25. att. Loka dzēšanas process  garensprauga kamerā |

**3. Termoatkabņa iestatījuma strāva *Ir* un *Irth*** (*Iiest.T.*) ir lielākā ilgstošā strāva, kura var plūst caur termoatkabni bez atslēgšanas. *Ir* jābūt lielākai par maksimālo slodzes strāvu *Ib*, bet mazākai par dotas ķēdes pieļaujamo strāvu *Iz*. Siltuma releji parasti regulējami diapazonā (0,7…1,0)∙*In*. Elektroniskie releji regulējami plašākā strāvu diapazonā (0,4…1,0)∙*In*. Ja automātslēdzim atkabnis nav regulējams, tad *Ir = In*.

Pārslodzes gadījumā strāvas bez termoatkabņa nostrādes (Ind) un ar nostrādi (Id) sastāda:

*Ind* = (1,05-1,1) *Ir*; *Id* = (1,30-1,45) *Ir*. (3.15)

Ja darba strāva ir lielāka par Id, termoatkabņa nostrādes laiks notiek atbilstoši laikstrāvas raksturlīknei. Iestatījuma strāvas *Ir* nosaukums – aizsardzība pret pārslodzēm (LТ vai fr. LR).

**4.** **Elektromagnētiskā atkabņa iestatījuma strāva *Im*** – lielākā ilgstošā strāva, kas garantē šim atkabnim rūpnīcas garantēto darbmūžu. Momentānas nostrādes vai ar laika aizturi elektromagnētiskie atkabni atslēdz elektrisko ķēdi īsslēguma strāvas gadījumā. Bieži literatūrā iestatījuma strāvu *Im* apzīmē ar *Isd* un sauc par selektīvo iestatījuma strāvu (*Im = Isd*).

|  |
| --- |
|  |

3.26. att. Automātslēdža laikstrāvas raksturlīkne ar termomagnētisko (*a*) un pusvadītāju (*b*) atkabni: *Ir* – termoreleja vai releja ar īso aizturi iestatījuma strāva; *Im* – elektromagnētiskā releja vai releja ar lielo laika aizturi iestatījuma strāva*; Isd* – selektīva iestatījuma strāva; *Ii* – elektroniskā atkabņa momentānas nostrādes iestatījums īsslēguma gadījumā; *ICU* – atslēgtspēja

Strāva *Isd* (mērvienība kA) ir atkarīga no strāvas *Ir* (3.8. tab.) un raksturo aizsardzību no

īsslēguma strāvām. Atslēgšana notiek atbilstoši laikstrāvas raksturlīknēm (3.26. att.) vai ar lai ka aizturi *tm*, vai saskaņā ar nosacījumu *I*2*t* = const, vai momentāni.

Rūpniecības automātslēdžiem ir liels atkabņu modifikācijas skaits, kas atļauj izvēlēt un adaptēt automātslēdža aizsardzības funkcijas konkrētas slodzes prasībām (sk. 3.8. tab. un 3.26. att. *a* un *b*).

3.8. tabula

**Automātslēdžus atslēgšanas strāvas diapazoni pārslodzes un īsslēguma gadījumā**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Automātslēdži** | **Atkabņa tips** | **Aizsardzība no pārslodzēm** | **Aizsardzība no īsslēguma** | | |
| Sadzīves automātslēdži IEC60898 | Termomagnētiskais (kombinētais) | *Ir = In* | Zemākais iestatījums. B tips.  3*In* ≤ *Im* ≤ 5In  (Im pastāvīga) | Standarta iestatījums. C tips.  5In ≤ *Im* ≤ 10In  (Im pastāvīga) | Augšējais iestatījums. D tips.  10*In* ≤ *Im* ≤ 20*In*  (Im pastāvīga) |
| Rūpniecības vidējās strāvas automāti  (IEC 60947) | Termomagnētiskais (kombinētais) | *Ir = In*  (neregulējama) | Zemākais iestatījums. B vai Z tips.  3.2*In* ≤ *Im* ≤ 4.8*In* | Standarta iestatījums. C tips.  7 *In* ≤ *Im* ≤ 10 *In* | Augšējais iestatījums. D vai K tips.  10 *In* ≤ *Im* ≤ 14 *In* |
| Rūpniecības lielās strāvas automāti  (IEC 60947) | Termomagnētiskais (kombinētais) | *Ir = In*  (neregulējama) | Pastāvīga: *Irn* = 7-10 *In* | | |
| Regulējama: 0,7*In* ≤ *Ir* ≤ *In* | Regulējama:  - Zemākais iestatījums: (2 – 5)∙*In*  - Standarta iestatījums: (5 – 10)∙*In* | | |
| Pusvadītāju (elektroniskais) | Ar lielo laika aizturi  0.4*In* ≤ *Ir* ≤ *In* | Ar īso laika aizturi, regulējams:  1.5*Ir* ≤ *Im* ≤ 10*Ir*  Momentāna nostrāde (I), aiztures laiks nav regulējams:  *I* = (12 - 15)∙*In* | | |

Automātslēdžu iedalījums pēc raksturlīknēm A, B, C un D tipos nosaka to lietošanas iespējas. Kā izriet no 3.8. tabulā un redzams 3.27. attēlā, tās atšķiras ar *Im* vērtībām.

A tipam *Im* = (2-3)∙*In*, tātad šie automātslēdži der aktīvas slodzes aizsardzībai, kam ir

ma­zas palaides strāvas.

B tipam *Im* = (3-4)∙*In* — tie paredzēti mazinduktīvas slodzes aizsardzībai, piemēram, sadzīves elektroiekārtām.

C tipam *Im* = (4,5-10)∙*In* — tie paredzēti elektrodzinēju aizsardzībai, kur pa­laides

strāva Ip < 10∙IN.

D tipam *Im* = (10-20)∙*In* — tie paredzēti iekārtām ar smagiem palaides ap­stākļiem.

K tipam *Im* = (8-14)∙*In* — tie arī paredzēti iekārtām ar smagiem palaides ap­stākļiem.

Z tipam *Im* = (2,5-3,6)∙*In*.

**5.** **Automātslēdža atslēgtspēja *Icu*** (*Ia*) — maksimālā īsslēguma strāva, kuras elektrisko loku var nodzēst lokdzēses kamerā un pie tam automātslēdzis paliek darba stāvoklī (*Icu* – rūpniecības automātslēdžiem, *Icn* – sadzīves automātslēdžiem).

*Icu* (nominālā maksimāla atslēgtspēja) un *Ics* (nominālā ekspluatācijas atslēgtspēja) ir noteikti standartā IEC 60947-2 dažādām izmantošanas kategorijām: kategorija A (momentāna atslēgšana) un kategorija B (atslēgšana ar laika aizturi).

*Icu* ir īsslēguma strāvas periodiskas komponentes darbīga vērtība. Tas nozīme, ka ap-eriodiskā komponente pārejas procesā ir vienāda ar nulli.

Automātslēdža atslēgtspēja *Icu* ir atkarīga no bojātas ķēdes posma jaudas koeficienta cos*φ* (3.9. tabula). Ja strāva ir fāzē ar spriegumu (cos*φ* = 1), tad atslēgt elektrisko ķēdi ir daudz vieglāk nekā citos gadījumos ar pazeminātu jaudas koeficientu.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.27. att. Automātslēdžu (termobimetāliskā un elektromagnētiskā atkabņa) laikstrāvas raksturlīknes B, C, D (*a*), K, Z (*b*)

**6. Automātslēdža atkabņa momentānas nostrādes iestatījums *Ii***(кА) ir atkarīgs no nominālas strāvas *In* un raksturo momentānu aizsardzību pret īsslēgumu. Ja īsslēguma strāva ir lielāka par *Ii* automātslēdzis momentāni atslēdz bojāto ķēdes posmu. Aizsardzība *Ii* var būt izslēgta B kategorijas aparātiem.

**7. Nominālais izolācijas pārbaudes spriegumu *Ui*** izmanto lai izvelēt spriegumu elektrisko izolācijas stiprības pārbaudei (parasti 2*Ui*). Darba strāvas nomināla vērtība nevar pārsniegt nominālais izolācijas spriegumu, t.i., *Ue = Ui.*

**8. Nominālais impulsa spriegums *Uimp* –** noteiktās formas un polaritātes spriegums, kuru spējīgi izturēt elektroiekārtas bez sagraušanas. Parasti rūpniecības automātslēdžiem *Uimp* = 8 kV, sadzīves automātslēdžiem – *Uimp* = 6 kV.

3.9. tabula

**Sakarība starp atslēgtspēju *Icu* un jaudas koeficientu cos*φ* īsslēguma gadījumā**

**(IEC 60947-2)**

|  |  |
| --- | --- |
| ***Icu*** | **cos *φ*** |
| 6 kA < Icu ≤ 10 kA | 0.5 |
| 10 кА <Iсu ≤ 20 кА | 0.3 |
| 20 kA < Icu ≤ 50 kA | 0.25 |
| 50 kA < Icu | 0.2 |

**9. A un B kategorijas.** Standarts IEC 60947-2 uzstāda divas kategorijas rūpniecības komutācijas aparatūrai:

A kategorijas komutācijas aparātiem elektromagnētiskais atkabnis īsslēguma gadījumā nostrādā bez laika aizturi (3.28. att.). Parasti tas ir vidējas strāvas automāti.

|  |  |
| --- | --- |
| 3.28. att. A kategorijas automātslēdža laikstrāvas  raksturlīkne | 3.29. att. B kategorijas automātslēdža laikstrāvas  raksturlīkne |

B kategorijas komutācijas aparātiem paredzēta nostrādes laika aizture, ja īsslēguma strāvas vērtība ir zemāka par īslaicīgi pieļaujamo īsslēguma strāvasvērtību *Icw* (3.29. att.). Parasti tas ir lielas strāvas automātslēdži un daži tipi vidējas strāvas automātslēdži, kas domāti smagiem ekspluatācijas apstākļiem.

**10. Nominālā īslaicīgi pieļaujama īsslēguma strāva *Icw*** (3.30. att.)ir strāva, kuru automātslēdzis spējīgs izturēt termiskī un elektrodinamiskī bez bojājumiem laika momentā, kas norādīts izgatavotājfirmas tehniskā dokumentācijā.

**11. Nominālā ieslēgšanas spēja *Icm*** ir strāvas maksimālā momentāna vērtība, kuru automātslēdzis spējīgs ieslēgt pie nomināla tīkla sprieguma. Maiņstrāvas tīklā nomināla ieslēgt-spēja *Icm* ir saistīta ar nominālo atslēgtspēju *Icu* un atkarīga no jaudas koeficienta cos*φ* (3.10. tabula).

|  |
| --- |
|  |

3.30. att. Īslaicīgi pieļaujama īsslēguma strāva: 1 – īsslēguma triecienstrāva; 2 - īsslēguma strāvas periodiskā komponente; 3 - īsslēguma strāvas darbīga vērtība (īslaicīgi pieļaujama īsslēguma strāva)

3.10. tabula

**Sakarība starp nominālo atslēgtspēju *Icu* un nominālo ieslēgtspēju *Icm* maiņstrāvas ķēdē īsslēguma gadījumā (standarts IEC 60947-2)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Icu*** | **cos*φ*** | ***Icm*** *=* ***k∙Icu*** |
| 6кА< *Iсu* ≤ 10кА | 0.5 | 1.7 х *Icu* |
| 10кА< *Iсu* ≤20кА | 0.3 | 2 x *Icu* |
| 20 кА < *Icu* ≤ 50 kA | 0.25 | 2.1 x *Icu* |
| 50 кА ≤ *Icu* | 0.2 | 2.2 x *Icu* |

*Piemērs.*Automātslēdzim Masterpact NW08H2 nominālā atslēgtspēja *Icu* = 100 кА. Automāta nominālas ieslēgtspējas piķa lielums sastāda *Icm = k∙Icu* = 2,2∙100 = 220 kA.

**12. Nominālā ekspluatācijas atslēgtspēja *Isc*.** Atslēgtspēju *Isc* izmanto lai pārbaudīt vai automātslēdzis ir darba stāvoklī pēc īsslēguma strāvas atslēgšanu. Eiropā pieņemts *Isc = Icu*.

**Īsslēguma strāvas ierobežojums.** Liels skaits automātslēdžus konstruktīvi uzbūvēti tā, lai novērstu īsslēguma strāvas maksimālās vērtības un izlaist tālāk ierobežoto strāvas vērtību (3.31. att.). Strāvas ierobežojuma spējas izgatavotājfirmās parāda grafiski, viens no tādiem tipiskiem grafikiem redzams 3.32. attēlā.

Diagramma 3.32. att. *a* parāda ierobežoto strāvas amplitūdas vērtību atkarība no īsslēguma strāvas periodiskas komponentes vērtībām.

Diagramma 3.32. att. *b* parāda ka samazinās siltuma iedarbība, kas proporcionāla I2t, atkarība no īsslēguma strāvas periodiskas komponentes vērtībām.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | |
| 3.31. att. Īsslēguma strāvas ierobežojums ar automātslēdžiem: *a* - īsslēguma un faktiskā strāva;  *b* - īsslēguma un faktiskā enerģija. | | |
| ***a*** | | ***b*** |

3.32. att. Tipiskā automātslēdža nostrādes raksturlīknes

**3.3.3. AUTOMĀTSLĒDŽU SELEKTĪVA DARBĪBA**

Automātslēdžiem elektroapgādes shēmās jādarbojas selektīvi, t.i., pēc atlases principa: avārijas gadījumā vispirms jānostrādā automātslēdzim B pie elektroenerģijas lietotāja un tikai tā atteices gadījumā nostrādā ievada vai barošanas līnijas automātslēdzis A (sk. 3.33. att.).

Selektivitātes veidi:

**Strāvas selektivitāte.** Laikstrāvas raksturlīknes ir nobīdītaslaikā ass virzienā. Selektivitātes robežstrāva Is vienāda ar (3.34. att.):

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.33. att. Pilnā vai daļējā selektivitāte  (Is – selektivitātes robeža) |

|  |  |
| --- | --- |
| 3.34. att. Strāvas selektivitāte | 3.35. att. Laika selektivitāte |

- Is = Isd2, ja Isd1 un Isd2 vērtības atrodas ļoti tuvu viens otrai vai savienoti starp sevi;

- Is = Isd1, ja Isd1 un Isd2 vērtības attālināti viens no otrā.

Parasti strāvas selektivitāte ir nodrošināta, ja Ir1/Ir2 > 2 un Isd1/Isd2 >2.

Selektivitātes robežvērtība šajā gadījumā ir: Is = Isd1**.**

Selektivitāte ir pilnā, ja Is > IК D2 vai Isd1 > IК D2, kur IK – īsslēguma strāva.

Pilnas selektivitātes nosacījumi parasti izpildās, ja

* + - * īsslēguma strāvas vērtības (IK D2) nav lielas;
      * nominālas strāvas automātslēdžiem D1 un D2 atšķiras starp sevi vismaz par vienu pakāpi.

**Laika selektivitāte.** Šajā gadījumā automātslēdzis D1 var nostrādāt ar laika aizturi Δt. Laikstrāvas raksturlīknes automātslēdzim D2 ar iestatījuma strāvām Ir2, Isd2 un automātslēdzim D2 ar iestatījuma strāvām Ir1, Isd1 nekrustojas starp sevi.

Selektivitātes robežstrāva Is šajā gadījumā vismaz vienāda strāvai IiD1, t.i., momentānas atslēgšanas iestatījuma strāvai.

**Aizsardzība pret īsslēguma strāvām** (3.35. un 3.36. att.). Automātslēdži A un B saskaņoti selektīvai darbībai pilnīgi, ja maksimālā īsslēguma strāva B ķēdē (IscB) nav lielākā par automātslēdža A elektromagnētiskā atkabņa iestatījuma strāvu (ImA). Šajā gadījumā tikai automātslēdzis B var atslēgt īsslēguma strāvu (3.36. att.). Selektīva darbība būs daļēja, ja maksimālā īsslēguma strāva ķēdē B ir lielākā par automātslēdža A elektromagnētiskā atkabņa iestatījuma strāvu (ImA). Tādā gadījumā nostrādā abi automātslēdži A un B (3.37. att.).

|  |  |
| --- | --- |
| 3.36. att. Automātslēdžu raksturlīknes selektīvai  darbībai | 3.37. att. Automātslēdžu raksturlīknes, ja selektivitāte daļēja |

Lai nodrošinātu selektīvo darbību, jāsaskaņo automātslēdžu laikstrāvas raksturlīknes gan pēc nostrādes laika, gan strāvas.

**Aizsardzība no pārslodzēm: uz strāvas līmenim dibināta selektīvā atslēgšana** (3.38. att. *a*). Metode var realizēt ja uzstādīti noteikta secība atslēgšanas sliekšņi elektroiekārtās dažādas pakāpēs, no zemākiem iestatījumiem līdz lielākiem iestatījumiem tuvāk pie barošana avota. Praktiski selektivitāte tiek nodrošināta, ja **IrA/IrB > 2**.

**Aizsardzība pret nelieliem īsslēguma strāvām: uz diskrētā laika aizturi dibināta selektīvā aizsardzība** (3.38. att. *b*). Metode var realizēt ar elektromagnētiskiem atkabņiem, kuriem iebūvēta laika aizture. Zemākiem relejiem laika aizture ir mazāka un palielinās pakāpeniski tuvāk pie barošana avota.

**Selektīvā atslēgšana izmantojot pirmo un otro metodi** (3.38. att. *с*). Šajā gadījumā jāsaskaņo automātslēdžu laikstrāvas raksturlīknes gan pēc nostrādes laika, gan pēc strāvas.

Selektivitāte ir pilnā, ja Isc В < Irm А (momentānā nostrāde). Augšējam automātslēdzim ar ātrdarbīgo elektromagnētisko atkabni ir divi iestatījumi:

* Irm А (ar laika aizturi) vai elektroniskais taimers;
* Irm А (momentānā nostrāde) standarta iestatījums (piemēram, automātslēdzis Compact SA tipa).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | |
| ***c*** | | 3.38. att. Selektīvā atslēgšana |

Izpildot šos noteikumus, selektivitāte tiks no­drošināta.

**3.3.4. AUTOMĀTSLĒDŽU IZVĒLE**

Zemsprieguma elektrisko tīklu aizsardzībai no īsslēguma un pārslodzes uzstāda automātslēdžus ar elektro­magnētisko atkabni, kas nostrādā bez laika ieturējuma, kā arī automātslēdžus ar termoatkabni vai automātslēdžus, kuriem ir termoatkabnis un elektromagnētiskais atkabnis, tātad automātslēdžus ar kombinēto atkabni. Termoatkabnim ir laika ieturē­jums, un tas ir apgriezti proporcionāls caur termoatkabni plūstošās strāvas stipru­mam. Izgatavo automātslēdžus ar regulējamu atkabni un neregulējamu atkabni. Vadiem un kabeļiem uzrāda ilgstoši pieļaujamo strāvu *Ip*. Automātslēdžu termoatkabņa un elektromagnētiskā atkabņa iestatījumu strāvas jāizvēlas atkarībā no vadu un kabeļu pieļaujamām strāvām un īsslēguma strāvām *Ik*.

Automātslēdžus izvēlas atbilstoši uzstādīšanas vietai shēmā, saskaņojot to ar lietotāja parametriem (3.39. att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.39. att. Elektriskā tīkla aizsardzība ar automātslēdžiem: 1 – aplēses (aprēķina jeb maksimālā) strāva; 2 - dzinēja palaišanas strāva; 3 – kabeļa laikstrāvas raksturlīkne I2t; 4 – automātslēdža laikstrāvas raksturlīkne. |

1. Automātslēdža nominālam spriegumam *Ue* jābūt lielākam vai vienādam ar elektroiekārtas nominālo spriegumu *UN*, kuras komutācijai un aizsardzībai automātslēdzis uzstādīts:

*Ue ≥ UN*. (3.16)

2. Automātslēdžu nominālai strāvai *In* jābūt vienādai vai lielākai par elektroiekārtas nominālo strāvu *In*, kuras komutācijai un aizsardzībai automātslēdzis uzstādīts;

*In ≥ IN* . (3.17)

Automātslēdžiem ar neregulējamo atkabni *In = Ir*.

3. Automātslēdža termoatkabņa iestatījuma strāvai *Ir* jābūt vienādai vai lielākai par elektroiekārtas aplēses (maksimālo) strāvu *Ia*, ievērojot drošības koeficientu *kdr.*, kuru nosaka katram automātslēdzim pēc tā termoatslēdzes laikstrāvas raksturlīknes:

*Ir ≥ kdr.∙Ia*, (3.18)

bet mazāks par maksimāli pieļaujamo strāvu *Ip* tīklā, t.i.

*Ia ≤ In ≤ Ip*, (3.19)

kas atbilst *a* diapazonam 3.40. attēlā.

Parasti pieņem, ka *kdr* = 1,05-1,1.

4. Automātslēdža standartizētai iestatījuma strāvai I2 jābūt vienādai vai mazākai nekā 1,45*Ip*, kas atbilst diapazonam *b* 3.40. attēlā. Iestatījuma strāva I2 ievēro neprecizitātes termoatkabņa izgatavošanas laikā. Parasti I2 par 10-40 % lielāka par *Ir* vai *In*. Iestatījuma I2 atslēgšanas laiks var būt 1 h vai 2 h atkarība no plūstošas strāvas vērtības, tātad

*In* ≤ 1,45 *Ip*. (3.20)

5. Automātslēdža elektromagnētiskā atkabņa nominālai strāvai *Im* jābūt lielākai vai vienādai ar maksimāli īslaicīgi pieļaujamo strāvu *Ik*(3), ievērojot drošuma koeficientu *kdr.m*.

*Im ≥ kdr.m·Ik*(3), (3.21)

kur *kdr.m* = 1,25 — drošuma koeficients.

Precīzāk drošuma koeficientu nosaka no raksturlīknēm. Piemēram, automātam A 3100 viņš sastāda *kdr.m* = 1,5.

6. Palaižot īsslēgto asinhrono elektrodzinēju, pa­laišanas brīdī strāva *Ipal* ir 5...7 reizes lielāka par nominālo strāvu. Automātslēdža elektromagnētiskais atkabnis nedrīkst atslēgties elektrodzinēja palaides brīdī, tātad jāizvēlas, lai

*Im* > 1,25 *Ipa*l, (3.22)

kur *Ipal* – elektrodzinēja palaišana strāva.

|  |
| --- |
|  |

3.40. att. Automātslēdža raksturlielumu noteikšana atkarība no elektriskā tīkla strāvas vērtībām.

7. Dzinēja aizsardzībai automātu termoatslēdzes iestatījuma strāvu izvēlas pēc šāda noteikuma:

*Ir ≥ kdrIMd*, (3.23)

kur *Ir* — termoelementa iestatījuma strāva;

*kdr* – drošuma koeficients (*kdr* = 1,05-1,1);

*IMd* - elektrodzinēja darba strāva (*IMd* = *Kn·IN*, kur *Kn* – dzinēja noslodzes koeficients, *IN* – dzinēja nominālā strāva). Ja noslodzes koeficients nav zināms, tad dzinēja darba strāvu pieņem vienādu ar dzinēja nominālo strāvu *IMd* = *IN*.

8. Automātslēdža maksimālai atslēgtspējai (atslēgšanās robežstrāvai) *Isc* jābūt vienādai vai lielākai ar trīsfāžu īsslēguma strāvu *Ik*(3)

*Isc* ≥ *Ik*(3), (3.24)

ja īsslēgums ir automātslēdža uzstādīšanas vietā. Tam atbilst diapazons *c* (3.40.att.). *Ik*(3) – trīsfāžu īsslēguma strāva, *Isc* – nominālā atslēgtspēja (atslēgšanas nominālā strāva).

9. Jāpārbauda, vai vienfāzes īsslēguma strāva ir pietiekami liela un elektromagnētiskais atkabnis atslēgsies vienfāzes īsslēguma gadījumā

*Ik*(1) > *Im*. (3.25)

10. Automātslēdzim jāatslēdz trīsfāzu īsslēguma strāvu elektriskā tīklā laika *tc* izejot no vada vai kabeļa termiskās izturības, kur  ja *tc* < 5 s.

Automatslēdža raksturlīknes salīdzinājums ar vadu termiskās izturības raksturlīknei parāda ka šis noteikums izpildīts, ja *Ik*(1) > *Im* (3.41. att.).

11. Vairākiem elektrodzinējiem (*n* = 2-5) ar īsslēgtu rotoru var uzstādīt maģistrālo (galveno) automātu, bet tikai ar elektromagnētisko atkabni, kura nominālo iestatījuma strāvu izvēlas pēc nosacījuma

 (3.26)

kur - vienlaicīgi darbojošos elektrodzinēju nominālas darba strāvas summa, A;

 - starpība starp palaišanas un nominālo strāvu elektrodzinējam, kuram šo strāvu vērtība ir vislielākās, A.

Ja vienlaicīgi palaiž vairākus dzinējus, tad palaišana strāva vienāda ar to summu.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.41. att. Vadu aizsardzība ar automātslēdžiem |

12. Ja elektrodzinēju skaits n > 5 vai automāts aizsarga sajaukto ar dažāda rakstura patērētājus

 (3.27)

kur  - vislielākā palaišanas strāva starp dzinējiem;

*Imax* – vislielākā aplēses (aprēķina) stāva līnijā ar pārējiem elektropātērētājiem (30 min laikā);

*KI* – izmantošanas koeficients mehānismam, kas izmanto dzinēju ar vislielāko palaišanas strāvu;

 – nomināla darba strāva dzinējam ar vislielāko palaišanas strāvu

No pārslodzes jāaizsargā vadi vai kabeļi ar degošu ārējo apvalku vai izolāciju, ja tie novietoti atklāti, kā arī vadi un kabeļi apgaismošanas tīklos tirdzniecības telpās, rūpniecības uzņēmumu administratīvās un sadzīves telpās (ieskaitot gludekļu, šujmašīnu, elektrisko plītiņu, ledusskapju, pārnesamo elektroenerģijas lietotāju pie­slēgšanai paredzētos elektriskos tīklus), dzīvojamās un sabiedriskās ēkās.

Spēka tīklos uzstādīto iekārtu vadi un kabeļi jāaizsargā no pārslodzes, ja tie uzstādīti rūpniecības uzņēmumos, dzīvojamās un sabiedriskās ēkās, tirdzniecības telpās, tikai tādos gadījumos, ja ir tāds tehnoloģiskais process vai darba režīms, kad var rasties ilgstoša vadu pārslodze.

Ja vadi un kabeļi uzstādīti apgaismošanas, sekundāro ķēžu elektriskos tīklos V-l, V-1a, V-2, V-2a klases sprādziennedrošās zonās, tie jāaizsargā no īsslēguma un pārslodzes, bet V-1b, V-1g klases sprādziennedrošās zonās vadu un kabeļu aizsar­dzība jāizveido tāpat kā sprādziennedrošās elektroietaisēs.

**3.4. SVIRSLĒDŽI**

Svirslēdzis ir vienkāršākais manuālais komutācijas aparāts. Svirslēdži tiek izmantoti elektrisko sadales elektrotīklu vadībai un kontrolei. Svirslēdžus izgatavo līdz 660 V maiņspriegumam un līdz 440 V līdzspriegumam. Slēdži tiek izmantoti ka ieejas slēdži:

* ieejas sadalēs
* galvenajās jaudas sadalēs komerciālajos un industriālajos pielietojumos
* modulārajās sadalēs komerciālajos un industriālajos pielietojumos
* vadības paneļos
* sadales motoru, darbgaldu u.c. barojošo tīklu lokālai vadībai un izolācijai

Industriālie funkcionēšanas parametru līmeni saskaņa ar IEC60947-1 un IEC60947-3:

□ nominālais darba spriegums no 500 līdz 690 V;

□ nominālā darba strāva AC-21 A, AC-22 A, AC-23 A un B, DC-21 A, DC-22 A, DC-23 A un B;

□ nominālā impulsa sprieguma izturība 8 kV;

□ bez parametru samazināšanas līdz 60 °C apkārtējai temperatūrai.

Svirslēdzis sastāv no ne­kustīgā kontakta jeb kontaktligzdas un kustīgā, kuram ir nažveida forma (3.42. att.).

Parasti svirslēdžus novieto vertikāli, tā lai nekustīgais kontakts atrastos svirslēdža augšējā daļā un tam pievieno sprieguma avotu. Apakšējā daļā pievieno elek­troenerģijas lietotāju, lai atslēgtā stāvoklī kustīgais kontakts jeb nazis neatrastos zem sprieguma.

***Slēdži atvienotāji*** (3.42. att. un 3.43. att. *a*)***.*** Svirslēdzi parasti uzstāda redzama pārtraukuma radīšanai elektriskā ķēdē un izmanto ka slēdžu atvienotāju, tātad slodzes atvienotājiem ir divas pozīcijas „Ieslēgts - Atslēgts”. Raksturlielumi doti standartā IEC 60947-3. Atvienotājs nav domāts slodzes (strāvas) atslēgšanai un standartos nav reglamentēti funkcijas nominālie lielumi. Atvienotāja galvenā funkcija – bojātas ķēdes daļas ātra manuāla vai automātiska atslēgšana, kad ķēde neplūst strāva.

***Slodzes slēdži*** (3.43. att. *b* un 3.44., 3.45. att.)***.*** Atslēdzot svirslēdzi ķēdes ar slodzēm, rodas elektriskais loks, kas bojā kontaktvirsmas. Lai samazinātu elektriskā loka nelabvēlīgo ietekmi, jāsamazina atslēgšanas laiks.

|  |
| --- |
|  |

3.42. att.Svirslēdzis: *a* — atslēgšanas momentā; *b* — apzīmējums shēmās; c - firmas Filnor svirslēdzis; 1 — izolācijas materiāla pamatne; 2 — kontaktligzda jeb nekustīgais kontakts; 3 — sprieguma pievads; 4 — kustīgais kontakts (nazis); 5 — izolācijas materiāla nažus savienojošā traversa; 6 — rokturis; 7 — elektriskais loks; 8 — elektroenerģijas lietotāja pievienotājvads

|  |
| --- |
|  |

3.43. att. Grafiskais apzīmējums shēmās: a – slēdzis atvienotājs; b – slodzes slēdzis

Ja svirslēdzis paredzēts arī elektriskās slodzes atslēgšanai, tam uzstāda lokdzēses kontaktus. Lokdzēses kontakti un galvenie naži ir savstarpēji saistīti ar atsperi (3.44. att.).

Atslēdzot ķēdi, vispirms atslēdzas galvenais kontakts, lokdzēses kontakti paliek ieslēgti, bet atspere izstiepjas. Kad galvenā naža attālums no nekustīgā kontakta pa­lielinās, palielinās arī atsperes stiepes spēks. Kad galvenais nazis ir atslēgtā galējā stāvoklī, atsperes spēks ir pietiekami liels, lai momentāni atslēgtu lokdzēses kon­taktus un ātri nodzēstu elektrisko loku.

|  |  |
| --- | --- |
| 3.44. att.Svirslēdzis ar lokdzēses kontaktiem: *a* — galvenais nazis 1 atslēgts, lokdzēses nazis 2 ieslēgts; *b* — svirslēdzis atslēgtā stāvoklī | 3.45. att.Svirslēdzis ar lokdzēses kameru:  1— nekustīgais kontakts; 2 — kustīgais kontakts;  3 — lokdzēses režģis; 4 — elektriskais loks |

Izgatavo dažādu konstrukciju svirslēdžus ar atšķirīgiem elektriska loka dzēšanas paņēmieniem. Tā, piemēram, atslēdzot līdzstrāvas elektrisko ķēdi, caur svirslēdzi plūstošā strāva rada magnētisko lauku, un uz elektrisko loku darbojas elektrodinamiskais spēks F, kas izstiepj elektrisko loku uz augšu, tātad pagarina un dzēš to. Ja naža garumu samazina, spēks F palielinās. Ja svirslēdzi lieto līdzstrāvas elektroietaisēs, tā nazi izgatavo īsu, lai elektrodinamiskais spēks būtu pietiekami liels elektriskā loka dzēšanai. Ja līdzstrāva nepārsniedz 20-30 A, uzstāda svirslēdžus ar lokdzēses kontaktiem, bet lielāku līdzstrāvu atslēdz, samazinot naža garumu, bet tā, lai elektrisko loku varētu izstiept līdz tā kritiskajam garumam. Maiņstrāvas elektriskās ķēdēs svirslēdža naža garumu izvēlas atkarībā no termiskās un elektrodinamiskās izturības. Lai samazinātu svirslēdžu izmērus, loka dzēšanai un ierobežošanai uzstāda dzēškameras (3.45. att.).

3.11. tabula

**Zemsprieguma komutācijas aparātu izmantošanas kategorijas maiņsprieguma ķēdē (standarts IEC 60947-3)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Izmantošanas kategorijas** | | **Tipiskais pielietojums** | **cos*φ*** | **Ieslēgšanas strāva**  **х *In*** | **Atslēgšanas strāva**  **х *In*** |
| **Komutācija bieža** | **Komutācija nav biežā** |
| АС-20А | АС-20В | Ķēdes komutācija bez slodzes | - | - | - |
| АС-21А | АС-21В | Aktīvas slodzes komutācija ar mērenām pārslodzēm | 0,95 | 1,5 | 1,5 |
| АС-22А | АС-22В | Aktīvas un induktīvas slodzes komutācija ar mērenām pārslodzēm | 0,65 | 3 | 3 |
| АС-23А | АС-23В | Elektrodzinēju komutācija un citas slodzes ar lielu induktivitāti | 0,45 ja I ≤ 100 А  0,35 ja I > 100 А | 10 | 8 |

Slodzes slēdži neaizsarga elektrisko ķēdi. Standarts IEC 60947-3 uzstāda slodzes slēdžiem:

■ komutācijas biežums ne vairāk par 600 cikliem ieslēgts/atslēgts stundā;

■ mehānisko un komutācijas dilumizturību;

■ nominālas ieslēgšanas un atslēgšanas strāvas (3.11. tabula);

*Piemērs:* Slodzes slēdzis uz nominālo strāvu 100 A ar kategoriju AC-23 (induktīva slodze) var ieslēgt strāvu *I* = 10∙*In* = 10∙100 = 1000 A, ja jaudas koeficients cos*φ* = 0,35 un atslēgt strāvu *I* = 8∙*In* = 8∙100 = 800 A, ja jaudas koeficients cos*φ* = 0,45. Pie tam slodzes slēdzim jāiztur īslaicīgus īsslēguma strāvas.

Ja svirslēdzim apakšējā daļā uzstāda vel otru nekustīgo kontaktligzdu sistēmu, tai var pievienot otru barošanas avotu vai otru elektroenerģijas lietotāju. Pirmajā gadījumā nažu izvadiem pieslēdz lietotāju, bet otrajā — sprieguma avotu (3.46. att. *b* ).

Šādas konstrukcijas svirslēdžus sauc par pārslēdžiem. Pārslēdžus var izmantot nelielas jaudas elektrodzinēju reversēšanai, barošanas rezervēšanai, elektrisko ķēžu pārslēgšanai.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.46. att.Svirslēdzis un pārslēdzis ar centrālo rokturi: *a* — svirslēdzis; *b* — pārslēdzis; 1 – rokturis;

2 – izolācijas plāksne; 3 — kustīgie kontakti jeb naži; 4 — panelis (elektroenerģijas lietotāja pievienojuma vada vietas); 5 – kontaktu pastatne; 6. – šarnīra pastatne; 7 – lokdzēses kontakti.

Izgatavo vienpola, divpolu un trīspolu svirslēdžus un pārslēdžus, tajā skaitā ar sviras piedziņu (3.47. att.). Rokturis var būt novietots priekšpusē vai sānos. To pašu rokturi var no priekšpuses vai no sāniem. Parasti svirslēdžiem ir kopīgie piederumi ar automātslēdžiem.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

# 3.47. att*.* Svirslēdzis ar centrālo sviras piedziņu: *a* – ar lokdzēses kontaktiem; *b* – ar lokdzēses kameru;

# 1 – kontaktu pastatne; 2 – lokdzēses kamera; 3 - kustīgā kontakta nazis; 4 – šarnīra pastatne; 5 – vilcējstienis; 6 – ass; 7 – lokdzēses kontakti.

Svirslēdžus izvēlas, ievērojot šādus nosacījumus.

1. Svirslēdža nominālam spriegumam *UN* jābūt vienādam vai lielākam par tīkla nominālo spriegumu *UN.t.*, kurā svirslēdzis uzstādīts

*UN > UN.t..*

2. Svirslēdža nominālai strāvai *IN* jābūt vienādai vai lielākai par aprēķina strāvu *Iapr*

*IN ≥ Iapr*,

kur *Iapr* — aizsargājamā objekta nominālā strāva.

Vienfāzes maiņstrāvas ķēdēs divpolīgs svirslēdzis dzēš elektrisko loku, tāpēc var atslēgt elektrisko ķēdi, ja spriegums nav lielāks par 380 V, bet vienpolīgs svir­slēdzis droši dzēš elektrisko loku, ja spriegums nav lielāks par 220 V.

Ja svirslēdzim ir centrālais rokturis, elektriskais loks var iedarboties uz apkal­pes personāla roku atslēgšanas brīdī, tāpēc ar šādu svirslēdzi drīkst atslēgt elek­trisko ķēdi, ja tajā neplūst strāva.

Ja svirslēdzim atslēgšanas rokturis ir sānos vai izveidota sviras piedziņa un tas ir uzstādīts līdzstrāvas ķēdē, kuras nominālais spriegums ir 220 V, ar to var atslēgt strāvu, ne lielāku par 0,2∙*IN*. Ja svirslēdzis ir uzstādīts maiņstrāvas ķēdē, kuras no­minālais spriegums ir 380 V, ar to var atslēgt strāvu ne lielāku par 0,3∙*IN*.

Līdzstrāvas 440 V ķēdes un 500 V vai 660 V maiņstrāvas ķēdēs ar svirslēdzi var pārtraukt elektrisko ķēdi, ja slodze atslēgta ar elektrisko aparātu, kas paredzēts slodzes atslēgšanai.

Ja svirslēdzim uzstādīta lokdzēses kamera, ar svirslēdzi var atslēgt līdzstrāvas ķēdi ar 440 V vai maiņstrāvas ķēdi līdz 500 V, ja strāva nepārsniedz 0,5·*IN*. Ar svir­slēdzi var atslēgt 220 V līdzstrāvas ķēdes un 380 V maiņstrāvas ķēdes, ja svirslēdzim ir lokdzēses kamera un strāva ķēdē nepārsniedz *IN* (3.12. tab.).

Ja *U* = 380 V un cos *φ* = 0,8 , ar svirslēdzi var atslēgt nominālo strāvu *IN* , bet, ja cos *φ* = 0,4, var atslēgt strāvu ne lielāku par 0,5·*IN*.

3. Svirslēdža normētai caurplūdes strāvas momentānai vērtībai *idyn* jābūt lielākai vai vienādai ar triecienstrāvu īsslēguma vietā (pārbaudi izdara, ja *IN* > 100A).

*idyn. ≥ iu,*

kur *idyn* = 2,55∙*Idyn*; *Idyn* — normēta pieļaujamās periodiskās caurplūdes strāvas efektīvā vērtība (dod izgatavotājrūpnīca).

4. Pārbaudi pēc termiskās izturības izdara, ja *IN* >100 A, pārbaudot vai

*I2th∙tth = Bk,*

kur *I*2*th*∙*tth* — izgatavotājrūpnīcas garantētais siltuma impulss, ko svirslēdzis spēj izturēt;

*Bk* — siltuma impulss, kas aprēķināts svirslēdža uzstādīšanas vietā.

3.12. tabula

**Svirslēdžu atslēgšanas strāvas**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Līdzstrāva, aktīva slodze, T = 0,0025 s | | | | Maiņstrāva, mazinduktīva slodze, cos *φ* = 0,8 | | | |
| *UN* =220V | | *UN* = 400V | | *UN* = 380V | | *UN* = 500V | |
| Bez  lokdzēses kameras | Ar  lokdzēses  kameru | Bez  lokdzēses kameras | Ar  lokdzēses kameru | Bez  lokdzēses  kameras | Ar  lokdzēses kameru | Bez  lokdzēses kameras | Ar  lokdzēses kameru |
| 0,2·*IN* | *IN* | *Iatsl.* =0 | 0,5·*IN* | 0,*3·IN* | *IN* | *Iatsl.* = 0 | 0,5·*IN* |

**3.5. PAKETSLĒDŽI**

Paketslēdzis ir komutācijas aparāts, kas paredzēts pārslēgumu veikšanai elek­triskās ķēdēs. Tāpat kā svirslēdži, arī paketslēdži var atslēgt un ieslēgt elektrisko ķēdi. Tie var būt izgatavoti kā paketslēdži, ar tiem var veikt arī pārslēgumus tāpat kā ar zvaigznes-trīsstūra pārslēdžiem.

Nekustīgie kontakti 3 novietoti izolācijas materiāla paketēs 2, kuras viena virs otras nostiprinātas uz kopējas vārpstas (3.48. att.). Katra pakete veido vienu atsevišķu slēdzi, kuram ir nekustīgie kontakti 3, nostiprināti uz izolācijas materiāla, un kustīgie kontakti 1. Kustīgā kontakta naži piestiprināti kvad­rātveida vārpstai. Vārpstas augšējā daļā nostiprināts rokturis 1. Vākā 5 atrodas kontaktu atsperes mehānisms, kurš fiksē ieslēgto un atslēgto stāvokli. Kustīgam kontaktam piestiprinātas divas fibras plāk­snītes, kas dzēš elektrisko loku atslēgšanas brīdī,tāpēc ar paketslēdžiem var komutēt lielākas strāvas nekā ar svirslēdžiem. Paketslēdzi var savākt un nostiprināt pie vāka 5 ar skavu 4 un savienotājtapskrūvi.

Paketslēdži paredzēti līdzstrāvas un maiņstrāvas ķēžu (no 10 A līdz 100 A, ja spriegums ir 220 V, un no 6 A līdz 60 A, ja spriegums ir 380 V) ieslēgšanai un atslēgšanai. Paketslēdžus (3.48. att.) lieto nelie­las jaudas dzinēju palaišanai, pār­slēgšanai no zvaigznes trīsstūrī un dažreiz vadības un signalizāci­jas ķēdēs. Ražo vienpolīgus, divpolīgus un trīspolīgus paketslē­džus, kas sastāv no izolācijas ma­teriāla paketēm, kuru iekšpusē iemontē kustīgus un nekustīgus plakanus slīdkontaktus ar momen­tānās pārtraukšanas mehānismu. Elektriskā loka dzēšanai slēdzī ir dzirksteles slāpējoša fibras pa­plāksne.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.48. att. Trīsfāžu paketslēdzis: *a* – uzbūve; *b* – kopskats;

1 - kustīgie kontakti (kontaktu tiltiņš); 2 – disks no plastmasas (pakete); 3 - nekustīgie kontakti (izvadi); 4 – kanāls savienotājtapskrūvei; 5 - vāks; 6 – rokturis; 7 - skava

Salīdzinot ar svirslēdžiem, paketslēdžiem ir mazāki izmēri, tāpēc tos var novietot elektroietaisēs un tie jūtami ne­palielina elektroietaises izmērus. Patei­coties atslēdzējatsperei, tie ir ātrdarbīgi. Paketslēdžu trūkumi: atslēgtā stāvoklī nerada redzamu elektriskās ķēdes pār­traukumu, ātri apdeg kontakti un tāpēc īsāks darbmūžs, bieži bojājas.

Paketslēdžus izvēlas, ievērojot tīkla nominālo spriegumu un strāvu paketslēdža uzstādīšanas vietā

*UN* ≥ *UtN*;

*IN ≥ Iapr.*,

kā arī tā komutācijas spēju. Paket­slēdžu komutācijas spēju raksturo iespēja pie *UN* un cos*φ* = =0,35 ± 0,5 (maiņstrāvai) un *T* = 0,01 s (līdzstrāvai) 50 reizes ieslēgt strāvu *Iiesl* = 7*IN* un 5 reizes atslēgt strāvu *Iatsl* = 3*IN*. Resurss pie *UN* un *IN* atkarīgs no cos*φ* vai *T* un paketslēdža gabarīta (sk. 3.13. tab.).

3.13. tabula

**Paketslēdžu resurss**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Shēmas parametri** | **Gabarīts *IN*, A** | **Resurss** |
| cos *φ* = 0,8  T = 0,0025s | 1; 3  5  6; 8; 9 | 15000  10000  5000 |
| cos *φ* = 0,3  T = 0,01s | 1;3  5  6; 8; 9 | 7500  5000  2500 |

Ja pārslēdžus izmanto elektrodzinēju palaišanai, tinumu pārslēgšanai no zvaig­znes slēguma trīsstūra slēgumā, uz paketslēdža vāka ir atzīmēti trīs stāvokļi, kas ir savstarpēji nobīdīti par 120°.

**3.6. KONTAKTORI**

**3.6.1. DEFINĪCIJA, LIETOŠANA**

Kontaktors ir distancvadāma divpozīciju komutējoša iekārta, kuras kontaktu stāvokļa maiņu realizē iebūvēts darbinātājs. Kustīgos kontaktus nevar iedarbināt ar roku vai citu ārēju (inerces vai trieciena) spēku. Galvenie kontakti domāti patērē­tājam raksturīgās slodzes vai pārslodzes strāvas biežai ieslēgšanai, ilgstošai vadīša­nai un atslēgšanai, īsslēguma strāvas var ieslēgt vai izslēgt tikai tam paredzēti kontaktori. Galvenokārt kontaktorus izmanto elektrodzinēju vadībai automatizētās elektropiedziņas sistēmās, taču tos var izmantot kā distancvadāmus slēdžus arī cita tipa patērētāju (apgaismojuma, sildiekārtu u.c.) ķēžu komutēšanai. Izmantojot kon­taktorus kvēlspuldžu vai kondensatoru ieslēgšanai, jāievēro speciāli nosacījumi sa­karā ar ieslēgšanas strāvas īslaicīgo daudzkārtīgo pieaugumu, kas var izsaukt kon­taktu sametināšanos.

***Kontaktoru iedalījums***. Pēc komutējamās strāvas veida — līdzstrāvas, maiņstrāvas un paaugstinātas frekvences maiņstrāvas kontaktori.

Pēc darbinātāja sistēmas — elektromagnētiski, hidrauliski, pneimatiski, elektropneimatiski, ar sprūdsistēmu darbināmi kontaktori.

Pēc strāvas pārtraukšanas metodes — kontaktori ar lokdzēsi gaisa, vakuuma, eļļā, izmantojot tiristoru bloku (hibridkontaktoros), vai spēka herkonus. Pēc komu­tējamo galveno ķēžu skaita — vienpolīgie, divpolīgie, trīspolīgie, četrpolīgie kon­taktori (daudzpolīgie kontaktori).

Pēc izpildāmās funkcijas — ieslēdzošie, pārslēdzošie, atslēdzošie, līnijas, vir­ziena, laikaiztures, reversīvie, spēka, bremzēšanas, vadības, paātrinājuma kontak­tori, palīgkontaktori.

Kontaktora blokshēma parādīta 3.49. attēlā, bet kontaktora grafiskais apzīmējums – 3.50. attēlā.

**3.6.2. LĪDZSTRĀVAS KONTAKTORI.**

Parasti līdzstrāvas kontaktorus izga­tavo vienpolīgus (ar vienu darba kontaktu pāri), jo divpolīgiem ir komplicēts konstruktīvais izveidojums.

|  |  |
| --- | --- |
| 3.49. *att.* Kontaktora elementu blokshēma: I — komutējamā strāva; VS — vadības signāls; K1 — kinemātiskā sistēma; K2 — kontaktu sistēma; LD — lokdzēses sistēma; S — kon­taktu stāvokļa indikators; D — darbinātājs | 3.50. att. Kontaktora grafiskais  apzīmējums |

Līdzstrāvas kontaktora shematisks izveidojums parādīts 3.51. attēlā *a*. Kontaktora elementi piemontēti izolācijas mate­riāla panelim. Kontaktora galvenās sastāvdaļas ir magnētiskā sistēma, kas sastāv no elektromagnēta spoles 1, masīvas ser­des 2 un enkura 3, kurš var griezties ap nekustīgu asīti 4, un kontaktu sistēma. Enkura augšgalam pievienotā kus­tīgā kontakta 5 elastīgu sadūri ar nekustīgo kon­taktu 6 nodrošina atspere 7, kura darba laikā rada vajadzīgo spiedienu starp galvenajiem kontaktiem 5 un 6 (3.51. att. *b*).

Darba strāvu *I* pievada nekustīgajam kontaktam 6. Kustīgo kontaktu ar kontaktora spaili savieno lokans vara vads 8.

Loka dzēšanas spole 9 ieslēgta virknē darba strāvas ķēdē.

3.51. attēlā *a* parādītajam kontaktoram ir viens normāli at­slēgts blokkontaktu pāris 10, ko ieslēdz vadības ķēdē. Līdzstrāvas kontaktoriem vispār ir 1—5 normāli noslēgti un 1—5 normāli atslēgti blokkontakti. Visvairāk izmanto tiltiņa tipa blokkontaktus (3.53. att.).

|  |
| --- |
|  |

3.51. att. Līdzstrāvas kontaktora shematisks izveidojums (a) un galvenie kontakti (b):

1 - elektromagnēta spoles; 2 - ser­de; 3 – enkurs; 4 – enkura ass; 5 un 6 - galvenie kontakti;

7 – atspere; 8 - lokans vara vads; 9 - loka dzēšanas spole; 10 – blokkontakti.

Lai kontaktora ieslēgtu, t. i., lai noslēgtu darba strāvas ķēdi, kontaktora spole 1 jāieslēdz vadības strāvas ķēdē: spolē plūsto­šās vadības strāvas magnētiskais lauks tad magnetizē serdi 2, un tā pievelk enkuru, kas pagriežoties noslēdz galvenos kontak­tus 5 un 6. Kontaktors paliek ieslēgts tik ilgi, kamēr tā spolē plūst strāva. Tikko strāvu pārtrauc, īpaša atspere atrauj kustīgo kontaktu no nekustīgā.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.52. att. Līdzstrāvas kontaktora uzbūve: 1 – lokdzēses spole; 2 – lokdzēses kamera; 3 - elektromagnēts; 4 – nekustīgs kontakts; 5 – kustīgs kontakts. |

Noslēdzoties galvenajiem kontaktiem, vienlaicīgi noslēdzas (NO) vai atslēdzas (NC) viens vai vairāki blokkontaktu pāri, kas, ieslēgti vadības ķēdē, veic elektropiedziņas vadības ope­rācijas.

Loka dzēšanas spole (3.52 un 3.54. att. *a*, *b*) dzēš elektrisko loku, kas rodas starp galvenajiem kontaktiem, tiem pārtraucot darba strāvas ķēdi. Loka dzēšanas spole 1 izveidota no resna vara vada ar nedaudziem vijumiem un ir ieslēgta darba strāvas ķēdē vir­knē ar galvenajiem kontaktiem 5 un 6. Virs spoles tērauda ser­des 2 atrodas elektrotehniskā kartona cilindriska čaula 3; ser­des galos piestiprinātas divas tērauda plāksnes 4, kas spoles magnētisko plūsmu no­virza galveno kontaktu rajonā. Galvenie kontakti atrodas no­ņemamā azbestcementa loka dzēšanas kamerā.

Loka magnētiskās dzēšanas pamatā ir magnētiskā lauka un loka strāvas mijiedarbes spēks F, kas stiepj loku uz augšu un tiecas to pārraut.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

3.53. att. Kontaktora blokkontakti

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |

3.54. att. Loka dzēšanas ierīces: ar loka dzēšanas spoli (*a, b*) un ar dzesējsietu (*c*).

1 - lokdzēses spole; 2 – spoles serde; 3 - elektrotehniskā kartona čaula; 4 – iespīlēšanas plāksnes; 5, 6 - darba kontakti; 7 - lokdzēses kamera; 8 - elektriskais loks (magnētiskā plūsma Φ saslēdzas pa iespīlēšanas plāksnēm un gaisa spraugu caur kontaktiem)

Loka dzēšanas spoles lieto arī maiņstrāvas kontaktoros, jo, mainoties strāvas virzienam loka dzēšanas spolē, vienlaicīgi mai­nās arī strāvas magnētiskā lauka virziens.

Loka dzēšanai izmanto arī loka dzesējsietu (3.54. att. *c*), kas izveidots galvenos kontaktus aptverošās kameras aug­šējā stūri.

Tas sastāv no loka dzēšanas kameras 1 sānsienās iestiprinā­tām, savstarpēji paralēlām tērauda plāksnītēm 2 ar ķīļveida iz­griezumu apakšmalā. Loka strāvas plāksnītēs rada magnētisko lauku, kura mijiedarbībā ar loka strāvu rodas elektromagnētisks spēks F, kas loku ievelk starp plāksnītēm. Šīs plāksnītes loku sadala, dzesē un, dejonizējot loka starptelpu, loku strauji dzēš.

Līdzstrāvas kolektoru magnētisko sistēmu īpatnība ir samērā maza gaisa sprauga (4—10 mm) starp spoles serdi un nepievilkto enkuru (palielinot gaisa spraugu, enkuru pievelkošais spēks sa­mazinās).

Līdzstrāvas kontaktorus izgatavo 110, 220, 440 un 600 V sprie­gumiem un 20—2500 A nominālajām strāvām.

**3.6.3. MAIŅSTRĀVAS KONTAKTORI.**

Maiņstrāvas kontaktorus galvenokārt izmanto magnētiskajos palaidējos maiņ­strāvas elektropiedziņas sistēmās asinhrondzinēju palaides, reversēšanas, brem­zēšanas, atslēgšanas operācijām. Palaižot un reversējot īsslēgtā rotora asinhron­dzinēju, kontaktoram jāieslēdz ķēde pie UN un cos φ = 0,3-0,4, un strāvas (5-7) IN, retāk (10-12) IN, savukārt jāatslēdz darbojošos dzinēja (n2 = n vai n2 *≈* nN) nominālā strāva pie U = 0,2 UN, vai arī (6-10) IN pie U = (1-1,1) UN, ja dzinēja rotors neiegrie­žas, vai n2 < 0,2∙nN. Šajos režīmos kontaktu nolietojums pie ieslēgšanas pārsniegs nolietojumu pie atslēgšanas. Šos kontaktorus var izmantot arī cita rakstura slodžu ķēžu komutēšanai. Maiņstrāvas kontaktoru lietošanas kategorijas dotas 3.14. tabulā.

3.14. tabula

**Galveno kontaktu ieslēgšanas un atslēgšanas noteikumi** (DIN/VDE 0660/9.82)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kategorija** | **IN,A** | **Ieslēgšana** | **Atslēgšana** | **cos φie.at** |
| AC1 | Visas vērtības | 1,5 | 1,5 | 0,95 |
| AC2 | Visas vērtības | 4 | 4 | 0,65 |
| AC3 | ≤17 | 10 | 8 | 0,65 |
| AC3 | 17 ≤ IN ≤ 100 | 10 | 8 | 0,35 |
| AC3 | > 100 | 8' | 6" | 0,35 |
| AC4 | ≤17 | 12 | 10 | 0,65 |
| AC4 | 17 ≤ IN ≤ 100 | 12 | 10 | 0,35 |
| AC4 | >100 | 10'" | 8' | 0,35 |

Uie /UN = Uat /UN = 1,1; ' — bet vismaz 1000 A; "— bet vismaz 800 A; "' — bet vismaz 1200 A.

Automātiskās vadības, signalizācijas un savstarpējās bloķēšanas funkciju reali­zēšanai kontaktoru konstrukcijās kā pamatelementi vai papildus pievienojami bloki paredzēti palīgkontakti.

Maiņstrāvas kontaktoriem ir vairākas īpatnības: magnētiskā sistēma izveidota no elektrotehniskā tērauda skārda, enkuru pie­velkošais spēks maz atkarīgs no attāluma starp enkuru un serdi, strāva elektromagnēta spolē tās pieslēgšanas momentā 10—15 reizes lielāka nekā strāva spolē ar pievilktu enkuru, enkuru pie­velkošais spēks mainās periodiski ar maiņstrāvas frekvenci, tādēļ kontaktora kustīgā sistēma darba laikā nepārtraukti vibrē, trokšņo.

Maiņstrāvas kontaktoru ieslēdzot, kustīgā sistēma spēcīgi trie­cas pret nekustīgo. Tādēļ bez detaļu nomaiņas šie kontaktori iztur ievērojami mazāk ieslēgšanu nekā līdzstrāvas kontaktori.

Vidējas un lielas jaudas maiņstrāvas kontaktoriem (3.55. att. *a*) E-veida enkurs 9 un galvenie kustīgie kontakti 4 cieši piestip­rināti horizontālai vārpstai 1, bet elektromagnēta spole 2 novie­tota uz E-veida nekustīgas serdes 9. Spoli pieslēdzot maiņspriegumam, tās serde pievelk enkuru 3, kas pārvietojoties pagriež vārpstu 1 un piespiež galvenos kustīgos kontaktus 4 nekustīga­jiem kontaktiem 5. Vienlaicīgi pagriežas ar blokkontaktu traversa 12, noslēdzot normāli atslēgtos NO blokkontaktus 7 un atslēdzot normāli noslēgtos NC blokkontaktus 8.

Darba strāvu pievada nekustīgajiem kontaktiem. Kustīgos kontaktus ar kontaktora spailēm savieno plānas vara sloksnes 11. Loka dzēšanu nodrošina azbestcementa loka dzēšanas kamerās 6 izveidotie dzēsējsieti vai loka dzēšanas spoles (3.55. attēlā *a* parādīta tikai viena loka dzēšanas kamera). Vibrācijas ierobežo īsi slēgtais kontūrs 10, kas aptver 1/3 līdz 2/3 no enkura šķērsgriezuma laukuma. Kontaktora paneli 13 izgatavo no izolā­cijas materiāla un montē vertikāli.

Mazas jaudas kontaktoru magnētiskajai sistēmai ir 3.55. at­tēlā *b* parādītais veids: ar enkuru 3 saistītā kustīgā sistēma, ver­tikāli pārvietojoties, slēdz galvenos un blokkontaktus. Šiem kon­taktoriem parasti nav loka dzēšanas ierīču.

Tikko pārtrauc strāvu maiņstrāvas kontaktora spolē, enkurs kopā ar visu kustīgo sistēmu pašsvara ietekmē atkrīt, pārtraucot darba strāvas ķēdi.

**Kontakti.** Kontakti var būt vienpakāpes un daudz pakāpes. Vienpakāpes kontaktā kontaktu pāris izpilda strāvu pārvades funkcijas un arī atslēgšanas funkcijas ar loka dzēšanu (3.56. att. *a*). Daudzpakāpes kontaktu sistēma sastās no divām vai trim paralēlajiem kontaktiem. (3.56. att. *b*).

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.55. att. Trīspolīgi maiņstrāvas kontaktori: a - ar horizontālu vārpstu; b - ar vertikālu kustību: Trīspolu maiņstrāvas kontaktors: 1 - horizontāla vārpsta; 2 - elektromagnēta spole; 3 - enkurs ; 4 - galvenie kustīgie kontakti; 5 - galvenie nekustīgie kontakti; 6 - loka dzēšanas kamera; 7 - normāli atslēgtie NO blokkontakti; 8 - normāli noslēgtie NC blokkontakti. 9 - nekustīga serde; 10 - īsi slēgtais kontūrs; 11 – vara sloksnes; 12 – traversa; 13 – kontaktora panelis.

Caur galvenajiem kontaktiem 1, 1’ plūst ilgstoša strāva un viņus izgatavo no materiāliem ar lielu vadītspēju. Lokdzēses kontaktus 2, 2’ izgatavo no termoizturīgiem materiāliem un viņus izmanto aparātu atslēgšanai. Vispirms atslēdzas galvenie kontakti un strāva plūst caur lokdzēses kontaktiem un pēc tam atslēdzas lokdzēses kontakti. Lokas dzēšana notiek lokdzēses kamerās.

**Galvenie kontakti** var būt sviras tipa vai tiltiņveida tipa.

*Sviras kontaktus* izmanto aparātos ar griežamo mehānisko sistēmu. 3.57. attēlā paradīta kontaktu pārvietošanas kinemātiska shēma. Kustīgo kontaktu nostiprina ar atsperi tādā veidā, lai kontaktu saskare notiktu ar berzi un pārvelšanos, jo tad notīrās uz tiem izveidojušies metāla oksīdi.

**Tiltiņtipa kontakti.** Maiņstravas kontaktora uzbūve ar tiltiņtipa kontaktiem parādīta 3.58. un 3.59. attēlā.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.56. att. Galvenie vienpakāpes (a) un divpakāpes (b) kontakti: 1, 1’ – galvenie komutējošie

kontakti; 2, 2’ – lokdzēses kontakti

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |

3.57. att. Svira kontaktus pārvietošanas kinemātika: a – sākuma saskares moments;

b – starp stāvoklis; c – ieslēgtais stāvoklis

**Tiltiņtipa kontakti.** Maiņstravas kontaktora uzbūve ar tiltiņtipa kontaktiem parādīta 3.58. un 3.59. attēlā.

|  |  |
| --- | --- |
| 3.58. att.Maiņstrāvas kontaktora konstruktīva shēma: I — komutējamā strāva; 1 — lokdzēses kameras; 2 — kustīgie kontakti (tiltiņkontakti); 3 — nekustīgie kontakti; 4 — darbinātāja elektromagnēta īsslēgtie gredzeni; 5 — darbinātāja elektromagnēta spole; Fk — kontaktu atsperes spēks; Fa — atgriezes atsperes spēks; Ф — magnētiskā plūsma | 3.59. att. Maiņstrāvas kontaktora konstruktīva shēma: 1 — elektromagnēta magnetvada serdene; *2 —* darbinātāja elektromagnēta spole; *3* — atspere; *4* — elektromagnēta magnetvada enkurs; 5 —- nekustīgie kontakti; *6—* kustīgie kontakti; 7— atspere; *8*— īsslēgtie vijumi |

Izmantojot maiņstrāvas kontaktorus asinhrondzinēju palaidei (kategorijas AC2-AC4), kontaktiem jāieslēdz strāva I = (5-7)∙IN, tādēļ nevēlamas ir kontaktu vib­rācijas ieslēgšanas procesā, kā arī triecieni darbinātāja mehānismā. Tos cenšas no­vērst ar papildatsperu palīdzību (sk. 3.60. att.)

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.60. att. Darbinātāju radīto triecienu un vibrāciju slāpēšanas paņēmieni ar papildatsperu 1 palīdzību |

Maiņstrāvas kontaktora darbināšanai var izmantot gan maiņstrāvas, gan līdzstrāvas elektromagnētus. Maiņstrāvas elektromagnēta nekustīgais un kustīgais magnētvads veidots kā sakniedētas elektrotehniskā tērauda plāksnīšu paketes.

Uz nekustīgā magnētvada šķeltā pola vienas daļas novietots īsslēgts gredzens (vijums, ekrāns) elektromag­nētiskā vilces spēka pulsāciju un trokšņu samazināšanai ieslēgtā stāvoklī. Maiņstrāvas kontaktoros ierosmes spoles magnētiskā plūsma periodiski sasniedz nulles vērtību, kas rada vibrācijas un dūkšanu. Lai to novērstu, spoles serdes galam uzmauc īsi slēgtu vijumu. Šādā vijumā, tāpat kā transformatorā sekundārajā tinumā, inducējas strāva, kas ir nobīdīta fāzē pret spoles strāvu. Vijuma magnētiskā plūsma noslēdzas pa enkuru un neļauj tam atkrist momentos, kad galvenā plūsma sasniedz nulles vērtību.

Lielām strāvām iz­manto kontaktorus ar sviras kinemātisko shēmu (3.61. b, c att.). Maiņstrāvas kontaktora darbināšanai var izmantot gan maiņstrāvas, gan līdzstrāvas elektromagnētus. Maiņstrāvas elektromagnēta nekustīgais un kustīgais magnētvads veidots kā sakniedētas elektrotehniskā tērauda plāksnīšu paketes. Uz nekustīgā magnētvada šķeltā pola vienas daļas novietots īsslēgts gredzens (vijums, ekrāns) elektromag­nētiskā vilces spēka pulsāciju un trokšņu samazināšanai ieslēgtā stāvoklī (3.61. b att.).

Maiņstrāvas elektromagnētu spoļu barošanas spriegums UNsp = (24-220-600) V, frekvence fN = 50, 60 vai 50/60 Hz. Ņemot vērā spoles induktīvās pretestības atka­rību no magnētvada darba gaisa spraugas, spoles ieslēgšanas sākumstrāva var sasniegt 10∙Insp (INsp — strāva spolē enkura pievilktā stāvoklī). Tas jāievēro, izvēloties spoles ķēdes vadības aparātus.

Standarti noteica, ka kontaktora spolei, kuras silšanas režīms nostabilizējies, strādājot pie 1,05·UN un maksimāli pieļaujamās apkār­tējās vides temperatūras, jānodrošina šādas prasības:

1. droši jāieslēdz kontaktors, pieslēdzot spolei spriegumu 0,8·UN, turklāt kus­tīgā sistēma nedrīkst ilgstoši vai īslaicīgi apstāties starpstāvokļos;
2. ieslēgtā stāvoklī, samazinot spoļu pieslēgumspriegumu līdz 0,7·UN, jānotur elektromagnēta enkurs pievilktā stāvoklī (pieļaujama elektromagnēta ievē­rojama dūkšana), bet, spriegumu atslēdzot, enkurs jāatlaiž. Ja spoles pieslēgumspriegums Usp > 0,85·UN, pieļaujama maiņstrāvas elektromagnētiem raksturīgā nelielā dūkšana. Ja spolei pieslēdz spriegumu Usp < 0,6·UN, kon­taktors nedrīkst ieslēgties.

Magnētiskajos palaidējos izmantojamo maiņstrāvas kontaktoru galvenie kon­takti nav paredzēti īsslēguma strāvu atslēgšanai.

Jauno kontaktoru strāvas patēriņš, salīdzinājumā ar klasiskajiem kontaktoriem, ir samazināts. Līdz ar to ievērojami samazinās kontaktoru sasilšana.

|  |
| --- |
| 3.61. att.Trīspolu maiņstrāvas kontaktors ar sviras kontaktiem (IN = 630 A):  a — pamatbloku izvietojums; b — darbinātāja elektromagnēts; c — kontaktu un lokdzēses sistēma; d — kontaktora variants bezloka komutācijai ar tiristoru bloku; 1 — palīgkontaktu bloks; 2 — galveno kontaktu un lokdzēses bloki; 3 — darbinātāja elektromagnēts; 4 — nekustīgo detaļu pamatne; 5 — izolēta vārpsta, uz kuras nostiprinātas kustīgās detaļas; 6 — triecienu slāpēšanas atsperes; 7 —īsslēgtais gredzens; 8 — pamatne; 9 — spole; 10 — enkurs; 11 — lokdzēses šaurspraugas kamera; 12 — lokdzēses spole; 13 — nekustīgais kontakts; 14 — kustīgais kontakts; 15 — lokdzēses rags; 16 — tiristoru bloks |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.62. att. Kontaktora 3RT elektriskā resursa (komutācijas ciklu skaits) atkarība no atslēdzamās strāvas. |

Kontaktsistēma tiek vadīta optimālā ātrumā, ko nosaka elektroniskais modulis. Tas nozīmē paaugstinātas komutācijas spējas un dzīvotspēju.

Trīs dažādi vadības veidi nodrošina kontaktoru lietošanas elastīgumu. Traucējumus slāpējošās ķēdes ir jau iebūvētas.

Sprieguma uzraudzība elektroniskajā modulī novērš kļūdu rašanos, lietojot nepareizu spriegumu. Īslaicīgi sprieguma kritumi ir konstruktīvi izlīdzināti.

**Papildkontaktori** un papildkontaktu modulārās ierīces piedāvā elastīgu risinājumu dažādām vadības funkcijām.

Kontaktori ir pieejami kā pamata 4-polu iekārtas dažādos apdares veidos (ar 4 komutācijas kontaktiem, 3 komutācijas kontaktiem un 1 atslēdzošo kontaktu, 2 komutācijas kontaktiem un 2 atslēdzošajiem kontaktiem.)

Iekārtu var tālāk paplašināt līdz pat astoņiem kontaktiem, uzmontējot papildkontaktu.

**3.7. RELEJI**

**3.7.1. DARBĪBAS PRINCIPS, GALVENIE PARAMETRI**

Automātiskās vadības iekārtās dažādu ierīču un procesu kontrolei, regulēšanai un vadībai lieto relejus.

*Relejs ir elektrisks aparāts, kuram, nepārtraukti mainot ieejas (vadības) parametru (piemēram, spriegumu), līdz tas sasniedz noteiktu vērtību, notiek lēcienveidīga (momentāna) izejas (vadāmā) parametra (piemēram, strāvas) izmaiņa.* Darba ķēdēs šādi aparāti ir automāti un kontaktori, bet releji galvenokārt darbojas vadības ķēdēs ar mazām strāvām, tāpēc tos var izveidot daudz jutīgākus nekā automātus un kontaktorus.

Releja darbības princips parādīts 3.63. attēlā.

Pieslēdzot spriegumu spolei, pa to plūst strāva, kas rada magnētisko plūsmu elektromagnēta magnētvadā: serdē un enkurā. Gaisa spraugā starp en­kuru un serdi rodas elektromagnētiskais spēks, kas pievelk enkuru pie serdes. Enkuram pagriežoties, tā otrs gals caur starpliku iedarbojas uz kontaktiem un tie saslēdzas, veicot vadības signāla atkārtojuma funkciju. Kontakti piestiprināti plakanām atsperēm, kas novietotas izolācijas materiāla turētājā. Kad spolei atslēdz spriegumu, plakanās atsperes atslēdz kontaktus un atspiež enkuru sākuma stāvoklī.

|  |
| --- |
|  |

3.63. att. Releja darbības princips

Elektriskā shēmā šādu releju attēlo, kā parādīts 3.64. attēlā: vadības ķēdē ieslēgta spole 1, bet vadāmajā ķēdē — kontakti 5.

Relejs realizē funkcionālu sakarību starp diviem elektriski nesaistītiem fizikā­liem parametriem. Šo sakarību attēlo releja statiskā vadības raksturlīkne jeb "ieejas-izejas" raksturlīkne (3.65. att.)

Nepārtraukti palielinot ieejas parametru x (piem., spriegumu spolei) un sasnie­dzot tā nostrādes vērtību xno, notiek lēcienveidīga izejas parametra y (piem., strāva caur kontaktiem) izmaiņa līdz tā nominālai vērtībai yN, kas, tālāk palielinot x, paliek nemainīga. Savukārt, samazinot x, notiek lēcienveidīga y izmaiņa līdz nullei vai ymin pie x atgriezes vērtības xat = xno + Δx.

Releja nostrādes, atgriezes un nominālie parametri:

*xno* — tā ir minimālā ieejas parametra vērtība, pie kuras notiek releja nostrāde (*Uno, Ino, Pno*);

*xat* — tā ir maksimālā ieejas parametra vērtība, pie kuras notiek releja atgrie­šanās sākuma stāvoklī (*Uat, Iat, Pat*);

*xN* — tā ir ieejas parametra nominālā vērtība, kas nodrošina drošu releja darbību ilgstošā režīmā (*UN, IN, PN*).

Analogi izveido releju ar atslēdzošiem kontaktiem, kas veic inversijas funkciju (3.65.b un 3.65. a att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

3.64. att. Releja apzīmējums elektriskas shēmās: a — ar saslēdzošiem kontaktiem, b — ar atslēdzošiem kontaktiem; 1 – spole (vadības ķēde); 2 – saslēdzējkontakts; 3 – pārtraucējkontakts;

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.65. att. Releja statiskā vadības raksturlīkne: x — ieejas parametrs; y — izejas parametrs; a — ar atslēdzošiem kontaktiem; b — ar saslēdzošiem kontaktiem

Releja darbību un kvalitāti raksturo virkne koeficientu.

*Atgriezes koeficients*

 (3.28)

Jo mazāks ir kat, jo stabilāks darbā ir relejs, un, ja kat tuvāks 1, jo jutīgāks ir relejs pret ieejas parametra svārstībām. Ieejas parametrs var būt spriegums, strāva, spoles MDS utt.

*Rezerves koeficients*

 (3.29)

Ja relejs paredzēts darbam stacionārās iekārtās, tad kr = 1,1-1,4. Relejam pārvie­tojamās iekārtās (transportā) kr var sasniegt pat 4. Jo lielāks kr, jo neekonomiskāks relejs.

Vadības koeficients

 (3.30)

kur *Pd* — komutējamā darba ķēdes jeb releja kontaktu jauda, *Pv* — vadības ķēdes jeb releja spoles jauda.

Komutācijas koeficients

 (3.31)

kur *Ik iesl* — strāva caur kontaktiem, tos ieslēdzot,

*Ik atsl* — strāva caur kontaktiem, tos atslēdzot.

Releja *jutību* nosaka nostrādes un atgriezes MDS.

Releju *darbību* raksturo nostrādes un atgriezes laiks (tno, tat).

*tno* — tas ir laiks no nostrādes signāla padošanas momenta līdz kontaktu saskar­šanās brīdim, kad izejas parametrs sāk palielināties.

*tat* — tas ir laiks no atgriezes signāla padošanas momenta līdz releja kustīgo daļu atgriezei izejas stāvoklī.

Releja kalpošanas laiku raksturo tā resurss, t.i., ieslēgšanas-atslēgšanas ciklu skaits, ko relejs nominālā darba režīmā var veikt bez bojājumiem. Parasti tas ir 1-10 milj. operāciju.

**3.7.2. RELEJU UZBŪVES PAMATPRINCIPI**

Neskatoties uz lielo konstrukciju daudzveidību, visi releji sastāv no šādiem funk­cionāliem mezgliem (3.66. att.):

|  |
| --- |
| ***a*** |
| ***b*** |

3.66. att. Releja blokshēma bez (a) un ar (b) laika kavējumu

1. — uztverošais mezgls — tas uztver ieejas signāla iedarbību un padara to pie­ejamu tālākiem pārveidojumiem; uztverošā mezgla uzbūve ir atkarīga no ieejas signāla veida, uz kuru tam jāreaģē. Piemēram, strāvas relejam ir elektromagnēta spole, līmeņa relejam — pludiņš, spiediena relejam — membrāna utt.;
2. — pārveidojošais mezgls — tas pārveido ieejas parametru (parasti tā enerģiju) tā, lai tas būtu ērts salīdzināšanai. Piemēram, elektromagnētā rodas vilces spēks, kas pievelk tā enkuru (elektriskā enerģija tiek pārveidota mehāniskajā);
3. — salīdzināšanas mezgls — tas salīdzina pārveidoto signālu ar releja nostrādes vērtību un nodrošina noteiktu izejas signālu. Piemēram, elektromagnētiskā relejā vilces spēkam jābūt lielākam par atslēdzošo atsperu kopējo spēku, lai tas nostrā­dātu;
4. — izpildmezgls — tas nodrošina lēcienveida parametru izmaiņas izejas elektriskajā ķēdē. Piemēram, saslēdzas releja kontakti;
5. — palēninošais mezgls — tas nodrošina vajadzīgo nostrādes vai atgriezes laika aizturi. Parasti tie ir dažādi papildelementi relejam: īsi slēgti gredzeni, pulksteņa mehānisms u.c.

Konstruktīvi vairāki funkcionālie mezgli var būt apvienoti vienā.

**3.7.3. ELEKTROMAGNĒTISKIE RELEJI**

Elektromagnētiskie releji ir vājstrāvas elektrisko ķēžu komutācijas ierīces. Visu releju raksturīga īpatnība, ka, mainoties ieejas signālam vienmērīgi, izejas signāls mainās lēcienveidīgi. Elektromagnētiskā releja ieejas lielums ir spriegums Uie, kas tiek pievadīts releja spolei, bet izejas lielums ir spriegums Uiz, kas tiek pievadīts patērētājam, piemēram, apgaismošanas spuldzei.

Pakāpeniski palielinot spoles spriegumu no Uie = 0 līdz Uie = Up, kur Up – releja pievilkšanās (ieslēgšanās) spriegums, tā izejas spriegums nemainās (Uiz = 0). Sasniedzot Uie = Up, notiek pārejas process un relejs ieslēdzas. Releja izejas spriegums Uiz pieaug lēcienveidīgi no nulles līdz nominālajai vērtībai (3.7. att. *a*).

Pakāpeniski samazinot spoles spriegumu no Uie = Up līdz Uie = Ua, kur Ua – releja atlaišanās spriegums, notiek releja izslēgšanās. Izejas spriegums Uiz uz patērētāja samazinās lēcienveidīgi no nominālās vērtības līdz nullei. Tātad elektromagnētiskajam relejam nav viennozīmīgas sakarības starp ieejas un izejas spriegumu izmaiņu. Spriegumu starpību ΔU = Up - Ua sauc par releja nejutības zonu. Jo mazāks ΔU, jo augstāka releja jutība.

Automātikā elektromagnētiskie releji ir vadības iekārtu izejas elementi jeb vadības komandu pārvades elementi no vadības iekārtas uz izpildiekārtu. Piemēram, loģiskais kontrolleris iedarbina releju K1, kurš komutē magnētisko palaidēju KM1, savukārt KM1 iedarbina izpildiekārtas elektrodzinēju M1 (3.67. att. *b*).

|  |
| --- |
| ***a b*** |

3.67. att. Elektromagnētiskā releja statiskā raksturlīkne (*a*) un izmantošanas piemērs elektriskās piedziņas vadības sistēmā (*b*).

Par *elektromagnētisko releju* sauc elektromagnētisku ierīci, kurā enkura pievilkšanas spēku rada spoles strāvas magnētiskais lauks. Mainoties ieejas spriegumam vienmērīgi, izejas spriegums mainās lēcienveidā.

Elektromagnētiskie releji iedalās *līdzstrāvas* un *maiņstrāvas relejos*.

Līdzstrāvas releju spoles baro ar līdzstrāvu, bet maiņstrāvas – ar maiņstrāvu. Līdzstrāvas releji iedalās *neitrālajos relejos* un *polarizētajos relejos*. Neitrālie releji nav jutīgi pret ieejas sprieguma polaritāti, jo, neatkarīgi no sprieguma polaritātes, šāda releja enkurs pievelkas vienā un tajā pašā virzienā.

Polarizētie releji ir jutīgi pret ieejas sprieguma polaritāti. To uzbūve un konstrukcija izveidota tā, ka enkuram ir vidusstāvoklis. Mainot ieejas sprieguma polaritāti, enkurs pārslēdzas uz vienu vai otru pusi un komutē divas dažādas elektriskās ķēdes. Polarizētie releji ir ievērojami jutīgāki par neitrālajiem relejiem, taču to pielietošana elektriskās piedziņas vadības shēmās ir ierobežota sakarā ar ļoti mazo pieļaujamo komutācijas jaudu. Tādēļ apskatīsim tikai neitrālos relejus.

**3.7.4. LĪDZSTRĀVAS ELEKTROMAGNĒTISKIE RELEJI.**

Līdzstrāvas releju uzbūves pamatā ir līdzstrāvas elektromagnēts, kas sastāv no feromagnētiska materiāla serdeņa 1, uz kura uzmontēta spole 2. Magnētisko ķēdi caur gaisa spraugu noslēdz feromagnētiska materiāla enkurs 3 (3.68. att.).

Ja spoles ķēdei pievada nominālo spriegumu Us = Unom un ieslēdz slēdzi S1, spolē plūstošā strāva Is rada magnētisko plūsmu Φ, kas noslēdzas caur gaisa spraugu un rada tajā elektromagnētisko vilces spēku Fe. Enkurs 3 pievelkas pie serdeņa 2 un, pagriežot izcilni 4, pārslēdz kontaktplāksni 5, kura pārvietojoties pārtrauc vai saslēdz elektriskos kontaktus 7. Kontakti (a-b) ir ***normāli slēgti*** jeb ***atslēdzoši*** kontakti, kontakti (c-d) – ***normāli vaļēji*** jeb ***saslēdzoš***i kontakti.

Izslēdzot slēdzi S1, atspere 7 atgriež enkuru sākuma pozīcijā un elektriskie kontakti ieņem normālo stāvokli. Relejs ir normālā stāvoklī, ja tā spolei nav pieslēgts spriegums.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

3.68. att. Līdzstrāvas elektromagnētiskais relejs un tā voltampēru raksturlīkne: 1 - serdenis; 2 - spole; 3 - enkurs; 4 - izcilnis; 5 - kontaktplāksne; elektriskie kontakti; 7 -atspere.

**Līdzstrāvas elektromagnētiskos relejus raksturojošie parametri.**

1. Enkura pievilkšanās spriegums Up (pievilkšanās strāva Ip) - spoles spriegums (strāva spolē), kas nodrošina enkura pievilkšanos (releja kontaktu pārslēgšanos).

2. Nominālais spriegums Unom (nominālā strāva Inom), kas nodrošina releja stabilu darbību (Unom > Up; Inom > Ip). Līdzstrāvas releju spoļu standartizētie nominālie spriegumi – (6, 12, 24, 36, 48, 60, 110, 220)V.

3. Atlaišanās spriegums Ua (atlaišanās strāva Ia) – minimālais spoles spriegums (strāva), pie kura releja enkurs atlaižas un kontakti ieņem sākuma stāvokli.

4. Drošuma (rezerves) koeficients:

 (3.32)

kur *Kd* > 1 (*Kd* = 1,2…2,0).

Drošuma koeficients raksturo releja nominālā sprieguma rezervi attiecībā pret pievilkšanās spriegumu. Šāda rezerve nodrošina releju shēmu drošu darbību mainīga sprieguma apstākļos. Līdzstrāvas releju vadības shēmas parasti baro no maiņstrāvas elektriskā tīkla caur taisngriežiem. Dažādu patērētāju iespaidā elektriskā tīkla spriegums var pazemināties līdz 20% no nominālā lieluma.

5. Elektromagnētisko releju jutību raksturo atgriešanas koeficients:

 (3.33)

kur Δ*U = Up - Ua* - releja nejutības zona.

Jo mazāka palaišanas un atgriešanas spriegumu starpība Δ*U*, jo augstāka releja jutība. Zemas jutības relejiem Ka = 0,2 – 0,3; vidēji jutīgiem relejiem Ka = 0,4 – 0,5, bet relejiem ar augstu jutību Ka = 0,8 – 0,9. No zemas jutības relejiem veido laika relejus, vidējas jutības releji tiek izmantoti kā elektrisko ķēžu komutācijas releji, bet augstas jutības relejus izmanto minimālā sprieguma kontrolei.

6. Nominālais jaudas pastiprinājuma koeficients:

 (3.34)

kur *Iiz nom, Uiz nom, Piz nom* – kontaktu nominālā komutācijas strāva, spriegums un jauda;

*Iie nom, Uie nom, Pie nom* – releja spoles nominālā strāva, spriegums un jauda.

Automātikā elektromagnētiskos relejus apskata kā *nelineārus jaudas pastiprinātājus*, jo pievadot releja spolei relatīvi mazas jaudas elektrisko signālu, no tā kontaktiem var noņemt ievērojami lielākas jaudas signālu.

***Piemērs***. Dots: Uie = 24 V, Iie = 20 mA, Uiz = 220 V, Iiz = 2 A. Ievietojot skaitliskos lielumus, iegūstam: *Kp* = 220V·4A/24V·0,02A = 917.

Līdzstrāvas releja voltampēru (V-A) raksturlīkne *I = f*(*U*) ir lineāra (3.68. att.). To apraksta Oma likums līdzstrāvas ķēdei:

 (3.35)

kur *Rs* - releja spoles aktīvā pretestība, Ω;

*Is* un *Us* – releja spoles strāva (A) un spriegums, V.

Raksturlīknei ir trīs raksturīgie punkti: 1 - pievilkšanās punkts; 2 – nominālais darba punkts; 3 - atlaišanās punkts.

***Elektromagnētiskais vilces spēks.***

Līdzstrāvas elektromagnētiskajam relejam ar vienu gaisa spraugu starp serdeni un enkuru elektromagnētisko vilces spēku *Fe* (N) aprēķina pēc formulām:

 (3.36)

kur *μ*0 = 4*π*·10-7 – magnētiskā konstante, H/m;

Φ - spoles strāvas radītā magnētiskā plūsma, Wb;

*B* - magnētiskā lauka indukcija, T; Is - spoles strāva, A.

*w* – spoles vijumu skaits; δ – gaisa spraugas platums, m;

*S* – feromagnētiskā serdeņa šķērsgriezuma laukums, m2.

Līdzstrāvas releja vilces spēks *Fe* ir tieši proporcionāls spoles ampērvijumu kvadrātam (*Is·w*)2 un serdeņa šķērsgriezuma laukumam *S*, bet apgriezti proporcionāls gaisa spraugas platuma *δ* kvadrātam. Samazinot gaisa spraugu starp enkuru un serdeni, var samazināt releja pievilkšanās spriegumu un patērēto jaudu.

**3.7.5. MAIŅSTRĀVAS ELEKTROMAGNĒTISKIE RELEJI.**

Maiņstrāvas releju uzbūves pamatā ir maiņstrāvas elektromagnēts, kas sastāv no spoles 1, kura uzmontēta uz feromagnētiska materiāla serdeņa 2. Magnētisko ķēdi caur gaisa spraugu noslēdz feromagnētiska materiāla enkurs 3 (3.69. att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

3.69. att. Maiņstrāvas elektromagnētiskais relejs un tā voltampēru raksturlīkne: 1 - spole; 2 - serdenis; 3 - enkurs; 4 – gredzens (drosele) enkura vibrāciju novēršanai.

Ja spoles ķēdei pievada nominālo maiņspriegumu *~Us = ~Unom*, spolē plūstošā maiņstrāva *~Is* rada sinusoidāli mainīgu magnētisko plūsmu ~Φ, kas noslēdzas caur gaisa spraugu un rada tajā elektromagnētisko vilces spēku *~Fe*. Enkurs 3 pievelkas pie serdeņa 2 un pārslēdz elektriskos kontaktus (attēlā nav parādīti).

Maiņstrāvas releja uzbūve ir līdzīga līdzstrāvas releja uzbūvei, taču ir dažas būtiskas atšķirības.

1. Maiņstrāvas releja serdenis un enkurs, atšķirībā no līdzstrāvas releja, tiek izgatavoti nevis no viengabala materiāla, bet no elektrotehniskā tērauda plāksnīšu paketēm. Plāksnītes savā starpā ir elektriski izolētas ar izolācijas lakas kārtiņu. Šāda konstrukcija nepieciešama, lai ierobežotu spoles strāvas radītās mainīgās magnētiskās plūsmas ~Φ inducētās virpuļstrāvas jeb Fuko strāvas, kuras serdenī un enkurā rada lielus siltuma zudumus. Tā kā katrai plāksnītei ir liela elektriskā pretestība, tad tajā inducētā strāva ir maza un siltuma zudumi serdenī un enkurā ir niecīgi.

2. Lai novērstu maiņstrāvas releja enkura vibrācijas, kas rodas sinusoidālajai spoles strāvai (*~Is = Ismax*·sin*ωt*) ejot caur nulles punktu, uz releja serdes gala uzmontē vara vai alumīnija gredzenu (drosele) 4, kas aptver 2/3 no serdes gala laukuma (3.69. un 3.70. att.). Kad caur spole plūst maiņstrāva droselē inducējas strāva, kura nobīdītā fāzē pret strāvu spolē. Magnētiskais lauks serdē šajā gadījumā ir summa no magnētiskā lauka spolē un droselē. 3.71. attēlā parādīta magnētiska lauka oscilogramma. Ka redzams, magnētiskais lauks serdē nav vienāds ar nulli jebkura laika momentā un relejs nevar atslēgties ja barošanas spriegums iet caur nulli – kontaktu drebēšana novērsta. Releja spoles strāvas radītā magnētiskā plūsma ~Ф šajā vietā sadalās divās nobīdītās komponentēs ~Ф1 un ~Ф2 , kurām pārklājoties rodas stabils vilces spēks *~Fe* > *Fm*, kur *Fm* – atsperu pretestības spēks, N.

Plūsmas komponente ~Ф1 apiet gredzenu, komponente ~Ф2 iet caur gredzenu un inducē tajā strāvu *~Ii*, kuras radītā magnētiskā plūsma ~Ф*i*, atbilstoši Lenca likumam, darbojas pretī plūsmas ~Ф2 izmaiņai un nobīda to fāzē attiecībā pret komponenti ~Ф1 par 60 elektriskajiem grādiem. Līdz ar to notiek abu komponenšu pārklāšanās, kas nodrošina stabilu pievilkšanās spēku ~Fe.

|  |  |
| --- | --- |
| 3.70. att. Maiņstrāvas spoles konstrukcija | 3.71. att. Releja magnētiskā sistēma maiņstrāvas tīklā: drosele neļauj magnētiskam laukam samazināties līdz nullei spolē |

Maiņstrāvas releja V-A raksturlīkne ir izteikti nelineāra (3.69. att.). To apraksta Oma likums maiņstrāvas ķēdei:

 (3.37)

kur *Zs* - maiņstrāvas releja spoles pilnā pretestība, Ω;

*Rs* – spoles aktīvā pretestība, Ω.

*XLs* – spoles induktīvā pretestība, Ω.

Induktīvā pretestība *XLs* ir lielums, kas mainās atkarībā spoles induktivitātes:

*XLs* = 2π*fLs* , (3.38)

kur *f* – maiņstrāvas frekvence, Hz (s-1);

*Ls* – spoles induktivitāte, H.

Pievelkoties enkuram, induktīvā pretestība *XLs* palielinās, jo pieaug releja spoles induktivitāte *Ls*:

 (3.39)

kur *w* - releja spoles vijumu skaits; S - serdeņa šķērsgriezuma laukums, m2;

*l* - magnētiskās ķēdes garums pa viduslīniju, m;

*δ* - gaisa spraugas platums, m;

*μ* - serdeņa materiāla relatīvā magnētiskā caurlaidība;

*μ*0 = 4π·10-7 - magnētiskā konstante, H/m.

Maiņstrāvas releja V-A raksturlīknei ir seši raksturīgie punkti (3.69. att.). Pakāpeniski palielinot spoles spriegumu, proporcionāli palielinās strāva. Tuvojoties punktam 1 sākas enkura vibrācijas, kā rezultātā strāva nedaudz samazinās. Punktā 1 notiek releja pievilkšanās un, samazinoties gaisa spraugai, pieaug spoles induktīvā pretestība un pievilkšanās strāva lēcienveidā samazinās no Ipmax līdz Ipmin punktā 2. Palielinot spriegumu no Up līdz Unom strāva palielinās ievērojami mazāk, jo spolei ir liela induktīvā pretestība.

Punktā 3 maiņstrāvas releja spoles spriegums un strāva ir vienāda ar nominālajiem lielumiem Unom un Inom. Samazinot spoles spriegumu, punktā 4 notiek releja atlaišanās. Palielinoties gaisa spraugai starp serdeni un enkuru, samazinās spoles induktīvā pretestība un atlaišanās strāva lēcienveidā palielinās no Iamin līdz Iamax. Punktam 6 atbilst releja maksimālā pievilkšanās strāva, ja to ieslēdz pie nominālā sprieguma. Atšķirībā no līdzstrāvas releja, maiņstrāvas releja pievilkšanas strāva ir ievērojami lielāka par nominālo darba strāvu (3.69. att.).

**Maiņstrāvas releja elektromagnētiskais vilces spēks.**

Maiņstrāvas releja ar vienu gaisa spraugu elektromagnētisko vilces spēku *~Fe* aprēķina pēc formulām:

 (3.40)

kur ~Φ - spoles strāvas radītās magnētiskās plūsmas efektīvā vērtība, Wb;

~B - magnētiskā lauka indukcijas efektīvā vērība, T;

~Is - spoles strāvas efektīvā vērtība, A;

ω = 2πf - maiņstrāvas leņķiskā frekvence, s-1;

Maiņstrāvas relejam vilces spēks ~Fe ir svārstīgs un periodiski mainās no ~Femin līdz ~Femax ar divkāršu maiņstrāvas leņķisko frekvenci 2ω.

Ja 2ωt = π/2, tad vilces spēks ir minimāls:

 (3.41)

Ja 2*ωt = π*, tad vilces spēks ir maksimāls:

 (3.42)

Salīdzinot maiņstrāvas releju un ekvivalentu līdzstrāvas releju ar vienādiem elektromagnēta parametriem (formulas 3.36) iegūstam, ka ~*Femin* = 0,42*Fekv*, bet ~*Femax* = 1,58*Fekv* , kur *Fekv* - ekvivalentā līdzstrāvas releja enkura vilces spēks, N.

Ekvivalentā līdzstrāvas releja vilces spēks ir vairāk kā 2 reizes lielāks par atbilstošā maiņstrāvas releja minimālo vilces spēku. Tas liecina, ka līdzstrāvas releji ir jutīgāki par maiņstrāvas relejiem.

Releja laikstrāvas raksturlīknes (3.72. att.) parāda aparātu uzvešanās trīsfāzu ķēdē palaišanas laikā: 1 – palaišana notiek, ja relejs atrodas aukstā stāvoklī; 2 - palaišana notiek, ja relejs atrodas karstā stāvoklī; 3 – notiek fāzes pazušana vai strāvas asimetrija ir lielākā par 40%.

Releja atvienošanas klasēs, atbilstoši standartam IEC 60947 var atrast 3.15. tabulā

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.72. att. Releja 3RB 10 laikstrāvas raksturlīknes: *a* – atvienošanas klase 10 A; *b* - atvienošanas klase 20

3.15.tabula

**Releja atvienošanas klases (standarts IEC 60947-4-1)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Atvienošanas klase** | **Nostrādes laiks tA, s (pie 7,2 х Iе  no auksta stāvoklī)** |
| CLASS 10 А | 2 < tA <10 |
| CLASS 10 | 4 < tA <10 |
| CLASS 20 | 6 < tA <20 |
| CLASS 30 | 9 < tA <30 |

**3.7.6. POLARIZĒTIE RELĒJI.**

Polarizētie releji *reaģē uz strāvas virziena izmaiņu aizsargā­jamā ķēdē.*

|  |  |
| --- | --- |
| Elektromagnētiskā polarizētā releja izveidojuma shēma parādīta 3.73. attēlā. Uz serdes ir novietota re­leja strāvas spole 1, ko ieslēdz virknē aiz­sargājamā strāvas ķēdē. Starp magnētiskās ķēdes poliem atrodas uz ass 2 nostiprināts enkurs 3 ar tinumu 4, ko ieslēdz līdzstrāvas ķēdē. Atkarībā no magnētiskās plūsmas vir­ziena magnētiskajā ķēdē enkurs 3 pagrie­žas vienā vai otrā virzienā, noslēdzot kon­taktus 5 pa labi vai pa kreisi. Polarizētā releja kontakti parasti ieslēgti atslēdzošā kontaktora spoles ķēdē.  Magnētelektrisko polarizēto releju enkurs ir pastāvīgais magnēts. | 3.73. att. Polarizētā releja izveidojuma shēma. |

**3.7.7. ELEKTROMAGNĒTISKO RELEJU IZVĒLE UN SALĪDZINĀJUMS.**

Līdzstrāvas un maiņstrāvas elektromagnētiskos relejus izvēlas pēc diviem galvenajiem tehniskajiem rādītājiem:

1) spoles nominālā sprieguma Unom;

2) kontaktu nominālā komutācijas sprieguma Uknom ;

3) nominālās komutācijas jaudas Pknom.

Spoles barošanas spriegumu izvēlas vienādu ar nominālo: Us = Unom. Kontaktu spriegumu izvēlas no nosacījuma: Uk ≤ Uknom. Lai relejs kalpotu paredzēto resursa laiku, kontaktu komutācijas jaudu ieteicams izvēlēties aptuveni 2 reizes mazāku par nominālo jaudu: Pk ≈ 0.5Pknom.

Līdzstrāvas releju pozitīvās īpašības: 1) augsta jutība un augsts ekspluatācijas drošums; 2) maza patērētā jauda un mazi zudumi; 3) spoles strāva nav atkarīga no enkura stāvokļa.

Trūkumi: 1) sakarā ar paliekošo magnetizāciju iespējama enkura pielipšana pie serdeņa; 2) nepieciešama taisngrieža iekārta barošanai no maiņstrāvas tīkla.

Maiņstrāvas releju pozitīvās īpašības: 1) iespēja barot tieši no maiņstrāvas tīkla; 2) liela palaišanas strāva, kas dod iespēju palielināt kontaktu atstarpi un komutēt lielāku jaudu.

Trūkumi: 1) salīdzinājumā ar līdzstrāvas relejiem, aptuveni 2 reizes zemāks ekspluatācijas drošums; 2) svārstīgs vilces spēks un relatīvi lieli enerģijas zudumi.

**3.7.8. HERKONU RELEJI.**

Herkonu releji ir komutācijas ierīces, kas sastāv no magnētiski vadāmu, hermetizētu kontaktu elementa – herkona 1, kurš ievietots spolē ar lielu vijumu skaitu 2. Lai pastiprinātu magnētisko plūsmu Φ, mazgabarīta herkonu releju spoles aptver ar magnētisko ķēdi 3. Herkons 1 sastāv no stikla balona, kurā iekausēti magnētiski mīksta materiāla elastīgi kontakti. Dzirksteļošanas samazināšanai herkona balonā iepildīta inerta gāze (argons).

Ieslēdzot slēdzi S1 (3.74. att.) releja spolē 2 plūst strāva Is. Tās radītā magnētiskā plūsma Ф iet caur herkonu 1 un magnetizē tā kontaktus. Magnētiskā pievilkšanās spēka iespaidā kontakti saslēdzas un ieslēdz slodzi - signālspuldzi HL1. Izslēdzot slēdzi S1, magnētiskā plūsma izzūd, kontakti atmagnetizējas un pārtrauc slodzes ķēdi.

Herkonu releju galvenās priekšrocības:

* vienkārša uzbūve (nav mehāniskās daļas);
* var darboties ugunsnedrošās un sprādzienbīstamās vidēs;
* liels komutācijas ciklu skaits (līdz 107);
* lielāka komutējamā jauda un 10 reizes lielāks komutācijas ciklu skaits salīdzinājumā ar ekvivalentu līdzstrāvas elektromagnētisko releju.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.74. att. Herkonu relejs: 1-herkons; 2- spole;  3- magnētiskā ķēde. |

* lielāka komutējamā jauda un 10 reizes lielāks komutācijas ciklu skaits salīdzinājumā

ar ekvivalentu līdzstrāvas elektromagnētisko releju.

**3.7.9. ELEKTROMAGNĒTISKIE UN ELEKTRONISKIE LAIKA RELEJI**

Tehnoloģisko procesu automatizācijā bieži nepieciešams nodrošināt dažādu operāciju noteiktu secību laikā. Šim nolūkam izmanto laika relejus. Tie var būt elek­tromagnētiski , vai elektromagnētiskam relejam pievienots pneimatiskais, mehāniskais vai cits shēmas bloks. Tādējādi izveido pneimatisko, elek­tromehānisko, motora laika releju.

Laika releji atbilst sekojošiem standartiem:

• EN 60721-3-3 «Ārējas vides noteikums»

• EN 61812- 1/DIN VDE 0435 Teil 2021 «Elektriskie releji, laika releji»

• EN 61000-6-2 un EN 61000-6-4 «Elektromagnētiskā savienojamība»

• EN 60947-5-1 (VDE0660Teil 200) «Zemsprieguma komutācijas aparāti»

**3.7.9.1. INDUKCIJAS TIPA ELEKTROMAGNĒTISKAIS LAIKA RELEJS.**

Indukcijas tipa laika releja pamatā ir līdzstrāvas elektromagnētiskais relejs, uz kura serdeņa uzmontēts masīvs vara vai misiņa gredzens ar mazu elektrisko pretestību (3.75. un 3.76. att.). Ieslēdzot slēdzi S1, releja spolē plūst strāva I, kas rada augošu magnētisko plūsmu Φ. Šī plūsma noslēdzas caur gredzenu un inducē tajā strāvu, kura rada indukcijas plūsmu Φi (3.75. att. *a*). Pēc Lenca likuma indukcijas plūsma darbojas pretī galvenās plūsmas izmaiņai. Tā kā galvenā plūsma palielinās, tad indukcijas plūsma vērsta pretējā virzienā un kavē tās augšanu. Līdz ar to reālā rezultējošā magnētiskā plūsma vienāda ar galvenās plūsmas un indukcijas plūsmas algebrisko starpību (3.75. att. *b*). Ja releja pievilkšanās plūsma vienāda ar Φp, tad relejam bez gredzena pievilkšanās laika kavējums vienāds ar t1, bet relejam ar gredzenu tas ir ievērojami lielāks tp = t2.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.75. att. Laika relejs ar elektromagnētiskās indukcijas radītu darbības kavējumu uz ieslēgšanos (a) un magnētisko plūsmu raksturlīknes (b).

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.76. att. Laika relejs ar elektromagnētiskās indukcijas radītu darbības kavējumu uz

atslēgšanos (a) un magnētisko plūsmu raksturlīknes (b).

Arī releja atlaišanās kavējumu rada indukcijas plūsma. Izslēdzot slēdzi S1, magnētiskā plūsma Φ strauji samazinās un rada indukcijas plūsmu Φi (3.76. att. *a*), kas pēc Lenca likuma cenšas galveno plūsmu Φ uzturēt. Šajā gadījumā indukcijas plūsma vērsta galvenās plūsmas virzienā un kavē tās samazināšanos. Līdz ar to reālā rezultējošā magnētiskā plūsma vienāda ar galvenās plūsmas un indukcijas plūsmas algebrisko summu (3.76. att. *b*).

Ja releja atlaišanās plūsma vienāda ar Φa, tad relejam bez gredzena atlaišanās laika kavējums vienāds ar t1, bet relejam ar gredzenu tas ir ievērojami lielāks ta = t2.

Ar indukcijas tipa laika releju iegūst kavējumu gan uz ieslēgšanos, gan atslēgšanos. Kavējuma laiks ir (2 ...3)s. Šos laika relejus izmanto elektrodzinēju automātiskās palaišanas un bremzēšanas shēmās.

**3.7.9.2. ELEKTROMAGNĒTISKAIS LAIKA RELEJS AR**

**KONDENSATORU.**

Vienkāršākais elektromagnētiskais laika relejs sastāv no līdzstrāvas releja, kura spolei K1 paralēli pieslēgts kondensators C1 (3.77. att.). Ieslēdzot slēdzi S1, caur uzlādes rezistoru R1 plūst strāva *i*, kas mezglu punktā sadalās spoles strāvā *is* un kondensatora uzlādes strāvā *ic*. Releja spoles K1 pretestība Rs rada noplūdi kondensatoram C1 un samazina tā kapacitāti. Tādēļ, lai iegūtu lielākus laika kavējumus, jāizvēlas augstomīgs relejs (Rs ≥ 10 kΩ).

|  |
| --- |
|  |

3.77. att. Elektromagnētiskais līdzstrāvas relejs ar kondensatora C1 radītu darbības kavējumu uz ieslēgšanos un atslēgšanos.

Slēdža S1 ieslēgšanas momentā (t = 0, is = 0, Uc = 0, ic = icmax = U/R1) sākas kondensatora uzlāde. Saskaņā ar komutācijas likumu, spriegums uz kondensatora nevar mainīties lēcienveidīgi. Tas pieaug pakāpeniski, atkarībā no kondensatora kapacitātes C1. Kad kondensatora spriegums kļūst vienāds ar releja pievilkšanās spriegumu Uc = Up, relejs K1 ieslēdzas. No slēdža S1 ieslēgšanas momenta līdz releja K1 nostrādei paiet laika sprīdis tp, ko sauc par releja pievilkšanās kavējumu. Pēc tam kondensators turpina uzlādēties līdz spriegumam Ucmax (3.78. att.).

|  |
| --- |
|  |

3.78. att. Elektromagnētiskais līdzstrāvas relejs ar kondensatora C1 radītu darbības

kavējumu uz ieslēgšanos un atslēgšanos.

Izslēdzot slēdzi S1, notiek kondensatora C1 izlāde caur releja spoli K1. Kondensatora izlādes strāva notur releju K1 ieslēgtā stāvoklī zināmu laika sprīdi pēc tam, kad tiek atslēgts barošanas spriegums U. Šo laika sprīdi sauc par releja atslēgšanās laika kavējumu ta.

**3.7.9.4. ELEKTRONISKAIS LAIKA RELEJS.**

Lielu kavējumu (no dažām minūtēm līdz stundām un pat vairākām diennaktīm) iegūšanai izmanto laika relejus, kas veidoti uz analogo un ciparu mikroshēmu bāzes. Šādi laika releji var būt vienkanāla (ar vienu ieeju un vienu izeju) vai daudzkanālu (ar vairākām ieejām un izejām).

Daudzkanālu laika releji tiek izmantoti kā komandaparāti programmvadības sistēmās. Trīs kanālu elektroniskā laika releja shēma parādīta 3.79. attēlā.

Nonākot komandas signālam kādā no ieejām, vadības shēma VS palaiž takts ģeneratoru G un impulsu skaitīšanas shēmu IS, kas sastāv no bināri-decimālo skaitītāju mikroshēmām. Takts ģenerators formē sprieguma impulsus ar stabilu sekošanas periodu Ti. IS attiecīgajā decimālajā izejā parādās augsta līmeņa signāls, ja saskaitīto impulsu skaits vienāds ar attiecīgās izejas decimālo vērtību. Piemēram, decimālajā izejā 5, kam atbilst decimālā vērtība 25 = 32, augsta līmeņa signāls parādās pēc tam, kad ieejā pienākuši 32 impulsi. Ja impulsu sekošanas periods Ti = 0.5s, tad attiecīgajā IS izejā signāls aizkavējas par t5 = 0.5 x 32 = 16 s.

Dešifrators DS atšifrē laika releja attiecīgā vadības kanāla, piemēram, (1) ieprogrammēto laika kavējumu, piemēram, (16 s) un formē signālu izejas jaudas pastiprinātājam EPI. Pastiprinātais signāls tiek padots uz izpildiekārtu. Katram vadības kanālam var ieprogrammēt dažādus kavējumu laikus, kas dod iespēju realizēt iekārtu programmētu vadību atbilstoši tehnoloģiskajām prasībām.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.79. att. Elektroniskais daudzkanālu laika relejs: BB - barošanas bloks;  G - takts impulsu ģenerators;  IS - impulsu skaitītājs;  DS - dešifrators;  EP - izejas signālu pastiprinātāji;  VS - vadības shēma. |

**3.7.10. TERMORELEJI**

Lai aizsargātu elektroiekārtas no pārkāršanas, izmanto termorelejus. To darbī­bas pamatā ir siltuma iedarbība uz materiāla mehāniskajām īpašībām (piem., izple­šanās) vai elektriskajām un magnētiskajām īpašībām: *ρ* = *φ*1(*θ*), *ε* = *f*2(*θ*), *μ* = *f*3(*θ*). No termorelejiem visplašāk izplatītie elektrotehnikā ir bimetāla termoreleji.

**Bimetāla termorelejus** plaši lieto automātiskās vadības shēmās. Tos izmanto magnētiskajos palaidējos dzinēju aizsardzībai no pārslodzēm un arī kā laika relejus. Galvenā releja sastāvdaļa ir bimetāla plāksnīte, kas sastāv no divām cieši savienotām (sametinātām vai salodētām) metāla sloksnītēm ar dažādiem termiskās izplešanās koeficientiem *α*1 un *α*2 *(α*1*/α*2 *≈* 20).

Šāda plāksnīte sasilstot izliecas uz metāla ar mazāko *α* pusi par vairākiem mili­metriem (3.80. att. *a*). Bimetāla plāksnīti var sildīt trejādi (3.80. att. *b*). Tiešā sildīšana notiek, ja caur plāksnīti 1 plūst visa ķēdes strāva; netiešā — ja strāva plūst caur sildelementu 2, kas silda plāksnīti; kombinētā — ja strāva plūst gan caur plāksnīti, gan caur sildelementu. Bimetāla plāksnīte ar kontaktiem var būt savienota tieši, tad kon­taktu kustības ātrums vienāds ar plāksnītes izliekšanās ātrumu (kontakti var ap­degt), vai caur sprūda mehānismu, kas nodrošina ātru kontaktu nostrādi pie noteikta plāksnītes stāvokļa. Pēdējo konstrukciju sauc par termisko pārslodzes atkabni.

Bimetāla siltuma releju konstrukcijas ir ļoti dažādas. Viena no tam dota 3.81. attēlā.

Siltuma relejs (SR) sastāv no 3 elektriskiem sildelementiem, kas slēgti katrā fāzē un caur kuriem plūst elektrodzinēja strāva. Sildelementā ar pretestību *Rs* (Ω) izdalās siltuma plūsma *Q* (W), kas proporcionāla strāvas I (A) kvadrātam: *Q = I*2·*Rs*.

Sildelementos izdalītā siltuma plūsma sasilda SR jutīgos elementus – bimetāla plāksnītes 1, kuras deformējoties iedarbojas uz atslēdzes mehānismu 2, 3, 4. Iedarbojoties pārnesuma svirai 4 uz kontaktu ar atsperes atslēdzi 5, tiek pārtraukti elektriskie kontakti KK1.1 (3.81. att.).

|  |
| --- |
|  |
| 3.80. att. Bimetāla termoreleja darbības princips (a) un plāksnītes sildīšanas veidi (b)  1 — bimetāla plāksnīte; 2 — sildelements |

|  |
| --- |
| ***a*** |
| ***b*** |

3.81. att. Siltuma releja diferenciālais mehānisms un tā darbība simetriskas pārslodzes (a) un fāzes atteices (b) režīmos: 1 - bimetāla plāksnītes; 2 - fāzes atteices bīdnis; 3 - simetriskas pārslodzes bīdnis; 4 - pārnesuma svira; 5 - kontakts ar atsperes atslēdzi.

SR reakcijas kavējuma laiks tk ir apgriezti proporcionāls elektriskās pārslodzes koeficientam kip = ki -1, kur ki = I/Inom – elektriskās slodzes koeficients.

Vidējo kavējuma laiku (sekundes) no pārslodzes rašanās momenta līdz SR nostrādes momentam var tuvināti novērtēt ar empīrisku sakarību:

 (3.43)

Izmantojot sakarību (3.43) novērtēsim kavējuma laikus atkarībā no elektrodzinēja slodzes koeficienta: ki = 6, tk = 6 s; ki = 2, tk = 30 s; ki =1.5, tk = 60 s; ki = 1.1, tk = 300 s.

Ja elektrodzinēja barošanas spriegums ir simetrisks, tad, rodoties ilgstošai tehnoloģiskai pārslodzei, strāva visās fāzēs palielinās vienādi. Līdz ar to arī visas bimetāla plāksnītes uzsilst un deformējas vienādi. Tās pārbīda bīdni 3 bultas norādītajā virzienā (3.81. att. *a*) un pārvieto paralēli pārnesuma sviru 4, kas iedarbojas uz atsperes atslēdzi 5 un pārtrauc kontaktus KK1.1.

Ja elektriskajā tīklā izzūd viena fāze, piemēram, fāze B (3.81. att. *b*), tad nomināli slogotam elektrodzinējam (I = Inom) strāvas pārējās fāzēs A un C palielinās 1.73 reizes. Līdz ar to arī abas malējās bimetāla plāksnītes uzsilst, deformējas un pārbīda bīdni 3 bultas norādītajā virzienā (3.81. att. *b*). Tā kā fāzē B strāva neplūst, tad vidējā plāksnīte paliek sākuma stāvoklī un bloķē bīdņa 2 pārvietošanos. Tā rezultātā pārnesuma svira 4 pagriežas ap bīdņa 2 šarnīru un paātrināti pārtrauc kontaktus KK1.1. Šāda diferenciālā konstrukcija nodrošina SR paaugstinātu jutību un paātrinātu nostrādi nepilnu fāzu režīmā.

Siltuma releju apzīmējums elektriskajās shēmās, pieslēgšanas un parametru iestatīšanas panelis, kā arī tehniskais dizains parādīts 3.82. attēlā.

Elektrodzinēja M1 spēka ķēdē attēlots SR siltuma atkabnis KK1 ar sildelementiem katrā fāzē. Kontaktora spoles izvadu savieno ar SR atslēdzošo kontaktu KK1.1.

Asinhrono elektrodzinēju komutācijas iekārtu parasti komplektē no kontaktora un siltuma releja. Mazas un vidējas jaudas SR ieejas spailes L1, L2 un L3 izveidotas kā savienotājtapas, kuras ievieto zem kontaktora izejas spaiļu T1, T2 un T3 paplāksnēm un fiksē ar skrūvēm. Šādu komplektāciju sauc par magnētisko palaidēju vai vienkārši par palaidēju. Šis nosaukums plaši iegājies praksē.

SR paredzēti noteiktam strāvu diapazonam. Ja elektrodzinēja strāva *Inom* = 11A, izvēlas SR ar strāvu diapazonu *Is* = (9 ... 14) A. SR atslēdzes strāvu iestata ar slēdzi 7 (3.82. att. *b*) atbilstoši nosacījumam: *Is ≥ Inom*. Ja elektrodzinēja strāva ilgstoši pārsniedz iestatīto strāvu, SR to atslēdz no elektriskā tīkla. Atkārtota ieslēgšana iespējama pēc bimetāla plāksnīšu atdzišanas. Atiestates veidu – rokas vai automātisko iestata ar slēdzi 1. Ar slēdzi 2 releju var ieslēgt un izslēgt rokas vadības režīmā. Relejam paredzēts papildus kontakts 8 avārijas signalizācijai.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.82. att. Siltuma releja KK1 attēlojums elektriskajā shēmā (*a*) un tā panelis (*b*):

1 - rokas (H) vai automātiskā (A) atiestate; 2 - releja izslēgšanas poga (mainās kontakta NO stāvoklis, nemainās kontakta NC stāvoklis); 3 - papildus kontakta spailes; 4 - spoles pieslēgšanas spaile; 5 – tīkla spailes; 6 - testa funkciju indikators; 7 - nominālās strāvas iestatījuma slēdzis; 8 – spoles ieslēgšanas spaile pēc slodzes noņemšanas (montāža uz kontaktora gadījumā); 9 – blokkontakta ieslēgšanas spaile pēc slodzes noņemšanas (montāža uz kontaktora gadījumā).

Termoreleju darbību raksturo tā laikstrāvas jeb aizsardzības raksturlīkne *tno* = *f*(*I*). Tā kā relejus ražo sērijās dažādām nominālām strāvām, parasti raksturlīknes dotas attiecinātās vienībās *t* = *f*(*I*/*IN*) (3.83. att.).

Tā kā plāksnītes siltuma procesus ietekmē apkārtējās vides temperatūra un dzesēšanas

apstākļi, *tno* var svārstīties diezgan plašās robežās (3.83. att.).

Lielākai sildelementu strāvas vērtībai termoreleju var komplektēt ar ma­zākai strāvai domātiem sildelementiem, turklāt nenostrādes parametru iespējams re­gulēt. Piemēram, firmas „National Electric” termoreleju GTH(K) var komplektēt ar šādu diapazonu sildelementiem: 0,16-22, 4-40, 7-85, 34-125, 34-150, 70-240, 85-400, 200-800 A, bet firmas "Lovato Electric" termoreleju 11RF180 var komplektēt ar šādu diapazonu sildelementiem: 60-100, 75-125, 90-150, 120-200 A. Līdz ar to releja tipa apzīmējumā parādās vēl otrs cipars, kas norāda ne­nostrādes strāvas maksimālo vērtību, piemēram — GTH(K)-150 vai 11RF180.150. Simetriskas pārslodzes gadījumā tās nav atkarīgas no papildelementu esamības, bet vienas fāzes pārtrau­kuma gadījumā tās ir atkarīgas no bīdņu diferenciālsistēmas esamības. Papild­elementu esamību norāda releja šifrs: 11RF — ar aizsardzību no fāzes pazušanas un ar manuālo atgriezi, 11RFN — bez aizsardzības no fāzes pazušanas un ar manuālo atgriezi, 11RFA — ar aizsardzību no fāzes pazušanas un ar automātisko atgriezi, 11RFNA — bez aizsardzības no fāzes pazušanas un ar automātisko atgriezi.

|  |
| --- |
|  |

3.83. att. Termoreleja GTH aizsardzības raksturlīkne

*a* — aukstai bimetāla plāksnītei; *b* — ar IN sa­sildītai bimetāla plāksnītei

Modernajos termorelejos būtiski papildelementi ir pārslēgs manuālai vai auto­mātiskai atgriezei, jutības regulators, releja nostrādes imitācijas poga, kontaktu lē­cienveida pārslēgšanās mehānisms.

Lielākai sildelementu strāvas vērtībai domātu termoreleju var komplektēt ar ma­zākai strāvai domātiem sildelementiem, turklāt nenostrādes parametru iespējams re­gulēt. Piemēram, firmas "Lovato Electric" termoreleju 11RF180 var komplektēt ar šādu diapazonu sildelementiem: 60-100, 75-125, 90-150, 120-200 A. Līdz ar to releja tipa apzīmējumā parādās vēl otrs cipars, kas norāda ne­nostrādes strāvas maksimālo vērtību, piemēram — 11RF180.150. Simetriskas pārslodzes gadījumā tās nav atkarīgas no papildelementu esamības, bet vienas fāzes pārtrau­kuma gadījumā tās ir atkarīgas no bīdņu diferenciālsistēmas esamības. Papild­elementu esamību norāda releja šifrs:

11RF — ar aizsardzību no fāzes pazušanas un ar manuālo atgriezi, 11RFN — bez aizsardzības no fāzes pazušanas un ar manuālo atgriezi, 11RFA — ar aizsardzību no fāzes pazušanas un ar automātisko atgriezi, 11RFNA — bez aizsardzības no fāzes pazušanas un ar automātisko atgriezi.

**3.7.11. RELEJU IZVĒLE**

Firmu katalogos uzrādīti šādi dati:

1. releja šifrs;
2. ekspluatācijas noteikumi — apkārtējās vides temperatūras, maksimālais augstums virs jūras līmeņa, uzstādīšanas stāvoklis, stiprinājuma veids, atbilstība normām un standartiem;
3. kontaktu skaits un funkcijas, nominālais izolācijas spriegums, nominālā strāva;
4. darbinātāja elektromagnēta ķēdes parametri — spoļu nominālais spriegums, nostrādes un atgriezes sprieguma vai strāvas vērtības, spoļu jauda;
5. dinamiskie parametri: nostrādes un atgriezes laiki;
6. garantētais ciklu skaits (resurss — mehāniskais un elektriskais);
7. maksimālais komutāciju skaits stundā;
8. gabarīti, svars;
9. aizsardzība pret apkārtējās vides iedarbību — IP.

Releja izvēle pamatojas uz konkrēta objekta vadībai nepieciešamo funkciju veik­šanu un parametru un apstākļu salīdzināšanu ar katalogos doto releju atbilstošajiem datiem. Izvēlētā releja parametriem jāatbilst objekta prasībām vai arī neatbilstības gadījumā tam ir jābūt nedaudz lielākam. Jāņem vērā, ka pārāk liela parametru re­zerve gan nodrošina garāku kalpošanas laiku un lielāku resursu, bet palielina apa­rāta gabarītus un cenu.

Strāvas un sprieguma relejiem jābūt spēkā nevienībām

INR ≥ INV,

UNR ≥ UNV,

kur INV, UNV — vadības ķēdes nominālā strāva un spriegums; INR, UNR — releja spoles nominālā strāva un spriegums.

INK ≥ INS,

UNK ≥ UNS,

kur INK, UNK — releja kontaktu nominālā strāva un spriegums;

INS, UNS — komutējamā slodzes ķēdes nominālā strāva un spriegums.

Ar vienu releju komutējamo ķēžu skaitam jāatbilst releja kontaktu skaitam (at­tiecīgi ieslēdzošie un izslēdzošie kontakti).

Laika relejiem jāsaskaņo arī nostrādes laiks ar nepieciešamo aizturi.

Termorelejiem ļoti svarīga ir pareiza nominālās strāvas saskaņošana. Lielākajai daļai termoreleju nominālo strāvu var regulēt robežās (0,75 -1,25)∙INB, kur INB — bimetāla plāksnītes vai sildelementa nominālā strāva, kurai ilgstoši plūstot relejs nenostrādā. Izvēloties termoreleju kāda patērētāja ar strāvu INP aizsardzībai, INB = INP. Ja izvēlas termoreleju elektrodzinēja aizsardzībai, kam ir liela palaides strāva, pēc laikstrāvas raksturlīknes (dota katalogā) jāpārbauda, vai relejs dotajos darba apstākļos neatslēgs palaides strāvu paredzētajā palaides laikā.

Tā kā termoreleja nostrādes strāva ir atkarīga no apkārtējās vides temperatūras Ө0, relejam bez temperatūras kompensācijas jāveic nominālās strāvas pārrēķins pēc formulas:



kur δ — koeficients, kas ievēro apkārtējās vides temperatūras izmaiņu par kat­riem 100°C (dots katalogā);

*Ө*0 — nominālā apkārtējās vides temperatūra.

**3.8. MAGNĒTISKIE PALAIDĒJI**

Par magnētiskajiem palaidējiem sauc ierī­ces, kuras lieto īsi slēgto asinhrono dzinēju palaišanai ar pilnu tīkla spriegumu. Tie aizsargā dzinējus pārslodzes un sprieguma pazemināšanās gadījumā. Aizsardzībai pret īsslēgumiem lieto drošinātājus vai spēka automātslēdžus.

Magnētiskie palaidēji ir kompleksas iekārtas, kas paredzētas manuālai vai auto­mātiskai asinhrondzinēju tiešai palaidei, reversēšanai, apturēšanai un aizsar­dzībai. Magnētiskie palaidēji satur vienu (nereversīvs palaidējs), divus (reversīvs palaidējs), trīs (zvaigznes-trīsstūra palaidējs) kontaktorus, specializētas dzinēja aizsardzības iekārtas un dažādus papildelementus (aksesuārus). Komplektējošie kontaktori parasti paredzēti darbam AC2 un AC3 kategorijām (3.16. tab.), bet dzinēju aizsardzībai pret pārslodzi visplašāk izmanto termorelejus. Īsslēguma strāvu atslēgšanai dzinēja barošanas ķēdē jāparedz īsslēguma aizsargaparāts (kūstošais drošinātājs vai automātslēdzis). Asinhrondzinēja vadības blokshēma pa­rādīta 3.84. attēlā.

Magnētiskos palaidējus ar jaudu līdz 45 kW ar nepieciešamo kontaktoru skaitu, papildkontaktiem, mehāniskās bloķēšanas svirām, termorelejiem un kārbām komplektē izgatavotājfirma slēgtā vai atklātā izpildījumā. Nepieciešamības gadījumā atbilstoši dzinēja strāvai vajadzēja nomai­nīt termoreleja sildelementu.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.84. att.Asinhrondzinēja vadības blokshēma: S1 — atdalošais slēdzis; A1 — īsslēguma aizsargaparāts; K — kontaktors; A2 — dzinēja avārijas režīmu aizsargaparāts; B — savstarpējās bloķēšanas iekārta (reversīviem palaidējiem); S2 — kontaktora stāvokļa signalizācijas iekārta; V — kontaktora vadības aparāti; M — asinhrondzinējs; O — operators; AVS — auto­mātiskās vadības sistēma; DM — darbināmais mehānisms, CGS — ceļa un gala slēdži |

3.16. tabula

**Magnētiskajos palaidējos izmantojamo kontaktoru īpašības**

|  |  |
| --- | --- |
| **Funkcionēšanas pazīme** | **Tipiska vērtība** |
| Augsta ciklu intensitāte (ciklu skaits stundā) | 1000-2000 h-1 AC - l kategorijā; 500-1000 h-1 AC-2, AC-3 kategorijā; 250-h-1 AC-4 kategorijā |
| Augsts elektriskais resurss (kontaktelementu resurss) | Atkarīgs no atslēdzamās strāvas. Tabulas dotas izgatavotājfirmu katalogos. Orientējošā vērtība: lietojot AC-3 kategorijā, mazākais 1/20 no attiecīgā mehāniskā resursa. |
| Augsts mehāniskais resurss | 106 ciklu |
| Galvenā strāvas ķēde pieejama diagnosticēšanai un kontaktelementu nomaiņai | Iespējams divreiz nomainīt kontaktelementus, lai pilnīgi izmantotu mehānisko resursu |
| Nav iespējams komutēt īsslēguma strāvu | Piemērota kūstošā drošinātāja vai automātslēdža parametru izvēle saskaņā ar izgatavotājfirmas katalogiem |
| liels elektromagnētiskā darbinātāja darba diapazons | (0,8-1,1) UN |
| Augsta triecienizturība (novērsta kļū­daina kontaktu darbība triecienu rezul­tātā) | Tiešā trieciena pieļaujamais paātrinājums 10 g laikā t = 5 ms, 5 g laikā t = 10 ms |
| Palīgkontakti vadībai, bloķēšanai, kontrolei | 2 ieslēdzošie + 2 atslēdzošie ar papildinā­šanas iespējām |

Modernajos magnētiskajos palaidējos izmantojamo unificēto aksesuāru daudz­veidība ļauj izveidot jebkuru nepieciešamo kombināciju, kā arī ekspluatācijas gaitā to ērti un ātri mainīt.

Palīgkontaktu ieslēgšanas un atslēgšanas noteikumi saskaņoti ar komutējamo elektromagnētu spoļu parametriem un atbilst AC-11 kategorijai: *Iie/IN* = 10, *Uie/UN* = 1, cos*φie* = 0,7, *Iat /IN* = 1; *Uat/UN* = 1, cos*φat* = 0,4.

*Kontaktoru bloķēšana ierīces*. Savstarpējās bloķēšanas ierīces nepieciešamas reversīvajos palaidējos, lai no­vērstu abu kontaktoru vienlaicīgas ieslēgšanas iespēju, kā arī organizējot vairāku kontaktoru nostrādi noteiktā secībā. Reversīvajos palaidējos izmanto mehānisko (ar sviru palīdzību), elektrisko (ar palīgkontaktu palīdzību), elektronisko vai jaukto bloķēšanu.

Kontaktu stāvokļa signalizācijai izmanto mehāniskos indikatorus, kas pārvie­tojas kopā ar kustīgo kontaktu tiltiņu un ir iekrāsoti. Aiz­sargātajos palaidējos izmanto kārbas vākā nostiprinātu signālarmatūru ar ekonomisku neona spuldzīti.

*Magnētisko palaidēju vadības aparāti*. Šie aparāti kalpo kontaktoru darbinātāju elektromagnētu spoļu ķēdes komutēšanai saskaņā ar vadības programmu un ciklogrammu. Manuālai vadībai izmanto spiedpogas un to kombinācijas (pogu stacijas), kā arī komandkontrollerus. Auto­mātiskai vadībai izmanto līmeņa, spiediena, ātruma, laika u.c. parametru relejus, kā arī kontakta vai bezkontakta izpildījuma programmas iekārtas, mikroprocesorus, programmējamos kontrolierus.

Magnētiskie palaidēji un to sastāvdaļas ļauj izveidot visdažādākās asinhrondzinēju vadības shēmas.

**3.8.1. ASINHRONĀ DZINĒJA TIEŠĀ PALAIŠANA**

Asinhronā dzinēja tiešā palaišana ir visvienkāršākais, ekonomiskākais un tādēļ izplatītākais šo dzinēju palaišanas paņēmiens.

Tradicionālā shēma paredz trīs dažādas ierīces dzinēja palaišanai un aizsardzībai: automātslēdzis vai drošinātājs aizsardzībai pret īsslēguma, siltuma relejs aizsardzībai pret pārslodzi, fāzes pārtraukuma vai fāzes asimetrijas un kontaktors dzinēja komutācijai (3.85. att. *a,* *b, c*).

Kompleksā aizsardzība (3.85. att. *d*) ar multifunkcionālajiem automātslēdžiem ne tikai aizsargā elektrodzinēju no īsslēguma un pārslodzes strāvām, bet arī regulē daudzas funkcijas, kas nepieciešamas dzinēju ekspluatācijā:

* aizsardzība saskaņota ar elektrodzinēja slodzi;
* ievēro palaides procesa raksturu un elektrodzinēju tipu (īsi slēgts rotors vai fāžu rotors);
* reaģē uz bojājumu barošanas tīklā un rotora nosprūšanas gadījumā.

Nereversīvā magnētiskā palaidējā pieslēguma shēma dzinēju aizsardzībai ar drošinātāju un termoreleju dota 3.86. attēlā, bet nereversīvā magnētiskā palaidējā pieslēguma shēma dzinēju aizsardzībai ar automātslēdzi dota 3.87. attēlā.

Dzinēja M statoru pieslēdz pie tīkla ar drošinātājiem FU 1…3, galvenajiem darba kontaktiem KM1.1…3, palaišanas pogu SB2 un siltuma releja sildelementiem KK1. Vadības ķēdes elementi paradīti shēmā atbilstoši vadības strāvas virzienam. Vadības ķēdē ieslēdz apturēšanas pogu SB1, pa­laišanas pogu SB2, kontaktora elektromagnētu tinumus KM1 un siltuma releju miera kontaktu KM1.1, kas parādīts saslēgtā stāvoklī (sk. 3.86. att.). Pogu SB2 bloķē ar kontaktora blokkontaktu KM1.4. Nospiežot pogu SB2 strāva plūst caur kontaktora spole KM1 un notiek kontaktora ieslēgšana. Galvenais kontakts SB2 un blokkontakts KM1.4 saslē­dzas, un pogu SB2 var atlaist, tā kā viņa ir šuntēta ar blokkontaktu. Dzinēju aptur, nospiežot pogu SB1. Pārslodzes gadījumā dzinējs atslēdzas automātiski ar termoreleju KK1.

Magnētiskā palaidējā pieslēguma shēma dzinēju kompleksai aizsardzībai ar daudzfunkciju automātslēdzi PR222MP dota 3.88. attēlā.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** | ***d*** |

3.85. att. Vienlīnijas (principiālā) elektriskā shēma elektrodzinēju aizsardzībai: *a* – aizsardzība ar automātslēdzi; *b* - aizsardzība ar automātslēdzitikai ar elektromagnētisko atkabni un termoreleju; *c* – aizsardzība ar drošinātāju un termoreleju; *d* – kompleksā aizsardzība ar elektronisko automātslēdzi - mikroprocesoru sistēma; 1 - automātslēdzisar elektromagnētisko un termoatkabni; 2 - automātslēdzistikai ar elektromagnētisko atkabni; 3 – kontaktors; 4 – drošinātājs; 5 – termorelejs; 6 – elektrodzinējs; 7 – automātslēdzis ar elektronisko atkabni (PR222MP)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 3.86. att.Nereversīva magnētiskā palaidēja pieslēgumshēma asinhrondzinēja manuālai distancvadībai. Aizsardzība ar kūstošo drošinātāju un termoreleju. Poga SB1 — "STOP"; SB2 — "START" | 3.87. att. Firmas "ABB" magnētiskā palaidēja DLA (elektromagnētiskā startera) pieslēgšanas shēma. |

Automātslēdžus ar elektronisko atkabni izmanto mikroprocesoru relejus, kas savukārt iedarbojas uz distancvadības atkabni ar neatkarīgiem laika iestatījumiem. Izmantojot tādus automātslēdžus var regulēt laikstrāvas raksturlīknes atbilstoši asinhronā dzinēja palaišanas raksturlīknēm. Šādas regulējamas aizsardzības ir izstrādājušas vairākas firmas. Ir pazīstams ABB SACE PR 212/MP aparāts dzinējiem ar strāvām virs 100 A, kuram var ieregulēt laikstrāvas raksturlīkni, kas sastāv no 5 posmiem (3.89. att.).

|  |
| --- |
|  |

3.88. att. Magnētiskais palaidējs kompleksai elektrodzinēja aizsardzībai

(PR222MP - automātslēdzis ar elektronisko atkabni, PR020/K - signalizācijas ierīce, PR212/CI - kontaktora vadības modulis, kontaktors AF tipa)

|  |  |
| --- | --- |
|  | 3.89. att. Elektroniskās aizsardzības posmu laikstrāvas raksturlīkne:  L - aizsardzība no pārslodzes strāvām; R - dzinēja aizsardzība rotora nosprūšanas gadījumā; I - dzinēja aizsardzība no īsslēguma strāvām; U - dzinēja aizsardzība no fāzes pazušanas (nesimetrijas); I1 - nostrādes strāva (L funkcija); I3 - nostrādes strāva (I funkcija); I5 - nostrādes strāva (R funkcija); t5 - nostrādes laiks (R funkcija); t6 - nostrādes laiks (U funkcija); Ie - dzinēja nominālā strāva; Ia – dzinēja palaišanas strāva; Ip – maksimālā strāva palaišana brīdī; ta – dzinēja palaišanas laiks; tp – maksimālas strāvas palielināšanas laiks; m – dzinēja palaišanas raksturlīkne; с - elektroniskā atkabņa nostrādes raksturlīkne dzinēja aizsardzībai. |

**3.8.2. ASINHRONĀ DZINĒJA REVERSĪVĀ PALAIŠANA**

Reversīvā magnētiskā palaidēja principiāla pieslēgumshēma dota 3.90. attēlā. No shēmas redzams, ka reversīvais magnētiskais palaidējs sastāv no diviem kontaktoriem, kas ieslēdzas pēc kārtas atkarība no nepieciešama dzinēja rotora griešanas virziena. Kontaktori pārslēdz divas fāzes uz dzinēja spailēm un ar to var sasniegt vai tiešo palaišanu, vai reversīvo palaišanu.

Vadības ķēdē ieslēdz apturēšanas pogu *SB*3, pogas pa­laišanai uz priekšu *SB*1 un atpakaļ *SB*2, kontaktoru elektromagnētu tinumus *KM*1, *KM*2 palaišanai uz priekšu un atpakaļ un siltuma releju miera kontaktus *KK*, kas parādīti saslēgtā stāvoklī (sk. 3.90. att.). Pogas *SB*1 un SB2 attie­cīgi bloķē ar kontaktoru *KM*1 un *KM*2 blokkontaktiem.

Palaišanu «uz priekšu» izdara šādi. Nospiežot pogu *SB*1, atslēdzas tās augšējie un saslēdzas apakšējie kontakti. Strāva no fāzes *L*3 plūst pa pogu *SB*3, pogas *SB*1 apakšējiem saslēgtajiem kontaktiem, pogas *SB*2 augšējiem saslēgta­jiem kontaktiem, kontaktora *KM*1 elektromagnēta spoli, siltuma releju saslēgtajiem vadības kontaktiem *KK* uz fāzi L1. Galvenie kontakti KM1 un blokkontakti KM1 saslē­dzas, un pogu SB1 var atlaist. Elektromagnēta spoles KM2 ķēde ir atslēgta. Tādā pašā veidā dzinēju palaiž pre­tējā virzienā ar pogu SB2. Dzinēju aptur, nospiežot pogu SB3. Sprie­guma pazemināšanās vai pārslodzes gadījumos dzinējs automātiski atslēdzas, jo tad elektromagnēta KM1, KM2 spolē sa­mazinās strāva vai arī siltuma relejs KK atslēdz vadības kontaktus. Shēmā redzams, ka dzinējs neieslēdzas, ja vienlaikus nospiež pogas SB1 un SB2, jo tad abas vadības ķēdes tiek pārtrauktas.

Palīgķēdes elementiem 3.90. attēlā ir tas pats apzīmējums, ka galvenās ķēdes elementiem, piemēram, blokkontakts kontaktora KM1 „Uz priekšu” un kontaktora galvenie kontakti apzīmēti ar simbolu KM1.

|  |
| --- |
| **L1 L2 L3**  image003_34 |

3.90. att. Izvērstā elektriskā shēma reversīva asinhrona elektrodzinēja palaišanai

Reversīvā magnētiskā palaidēja pieslēgumshēma dzinēju aizsardzībai ar drošinātāju un termoreleju dota 3.91. attēlā, bet reversīvā magnētiskā palaidējā pieslēguma shēma dzinēju aizsardzībai ar automātslēdzi dota 3.92. attēlā. Asinhrondzinēju auto­mātiskai vadībai var izmantot dažādus relejus.

**3.8.3. MADNĒTISKO PALAIDĒJU IZVĒLE**

Galvenā prasība pret magnētisko palaidēju izvēle ir komutējamo strāvu lielums. Pēc strāvas lieluma visi palaidēji var sadalīt šādas grupās:

* magnētiskie palaidēji ar strāvu līdz 100 A, piemēram, ПМЛ uz strāvām 10-80 А vai ПМУ uz strāvām 9-95 А;
* magnētiskie palaidēji ar strāvu līdz 400 А, piemēram, palaidēji Chint Group Co sērijas NC1 un NC3 uz strāvām 9-370 А;
* magnētiskie palaidēji ar strāvu līdz 1000 А, piemēram, firmas Moeller palaidēji DIL sērijas uz strāvām 20-855 А;

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |

3.91. att. Firmas "Siemens" reversīva magnētiskā palaidēja ar kontaktoru 3RT1 pieslēgšanas

shēma: *a* - principiālā elektriskā shēma; *b* – vadības shēma īslaicīgi-atkārtotajam režīmam; *c* - vadības shēma ilgstošam režīmam; Poga S0— "STOP"; poga S1 — "Uz priekšu"; poga S2 — "Atpakaļ"; S – pārslēdzis „Uz priekšu-Stop-Atpakaļ”; К1 – labas griešanas virziena kontaktors; К2 - kreisas griešanas virziena kontaktors; F1 – spēka tīkla drošinātāji; F3 – vadības ķēdes drošinātāji; F2 – pārslodzes relejs.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

3.92. att. Firmas "ABB" reversīva magnētiskā palaidēja WLA ar automātslēdzi MS 325

pieslēgšanas shēma: *a* – elektriskā shēma; *b* – vadības shēma

* magnētiskie palaidēji ar strāvu virs 1000 А, piemēram, firmas GE Power Controls palaidēji sērijas CL un CK uz strāvām 25-1250 А.

Lai pareizi izvēlēt magnētisko palaidēju jāzina sekojošos datus.

**I. Izejas dati.**

1. Vadāmā asinhrondzinēja nominālie parametri: PN, kW; UN, V; IN, A; cos φN, ηN, palaides strāvas attiecība Ipal/IN, slodzes koeficients β = Ifakt/In. Ja nav dota IN vērtība, to aprēķina šādi:



Faktiskā slodzes strāva: Ifakt = IN∙β, A.

1. Prognozējamais darba režīms, ciklu intensitāte, nepieciešamais resurss, dro­šums, izmaksu robeža.
2. Vadības shēma, kas nosaka vadības aparātu nomenklatūru, aparātu lietošanas kategoriju un novietojumu.

4. Dzinēja nomaiņas vai remonta problēmas un izmaksas (ar to saistīta aizsargaparātu izvēle).

**II. Izvēles nosacījumi.** Aizsardzības aparāti, kuru para­metri apmierina izejas datu prasības, jāizvēlas atbilstoši standartam EN 60-204-1, IEC 947-4-1 un koordinācijas tipam.

Koordinācija I tips – visvairāk izmantojams risinājums, optimālā vērtība, pirms palaišanas jāpārbauda palaidējus, nav nepieciešams paaugstināts iedarbes drošums. Īpatnības – palielināta aparātu dīkstāve, paaugstinātas prasībās tehniskajam personālām: remonts, apkalpe, ekspluatācija. Piemērs: kondicionēšanas sistēmās.

Koordinācija II tips – risinājums nodrošina iedarbes drošumu. Īpatnības – samazinātā aparātu dīkstāve, pareiza funkcionēšana. Piemērs: eskalators.

Pilnā koordinācija – aizsardzības un komutācijas aparātus var izvēlēties ar nelielu rezervi, kas savukārt noved pie izmaksas un gabarītu, kā arī resursa un drošuma pieauguma, turpretī aizsardzības aparātu parametriem jābūt precīzi saskaņotiem ar aizsargājamā objekta prasībām (sk. 3.93. att.). Tāpat jābūt izpildītam noteikumam, ka spēka ķēdē ieslēgtiem īsslēguma aizsardzības aparātiem jāpārtrauc īsslēgums, pirms sprieguma samazināšanās dēļ sāk atkrist palaidēja kontaktora darbinātāja elektromagnēta en­kurs, t.i.,

tīssl. < tat.pal,

kur tat.pal, — palaidēja atgriezes laiks, jo kontaktora galvenie kontakti nedrīkst atvērties īsslēguma procesa laikā tīssl.. Pilnās koordinācijas īpatnības – ātrā atgriešana darba stāvoklī, pareiza funkcionēšana, vienkāršotā apkalpe. Piemērs: ugunsdzēšanas sistēmās.

***III. Vadu, kabeļu izvēle.*** Magnētisko palaidēju un asinhrondzinēju savienojošo vadu vai kabeļu marku nosaka elektroiekārtu uzstādīšanas un lietošanas nosacījumi (atklāta vai slēgta, stacionāra vai daudzkārt pārvietojama iekārta, telpu kategorija u.c.), bet šķērsgrie­zumu — aizsargājošā kūstošā drošinātāja nominālā strāva vai automātslēdža iestatījuma strāva.

Vadības ķēdēs, kas satur kontaktoru un releju spoles, signālspuldzes, salāgojošos mazjaudas transformatorus u.c., paredzēta strāva līdz 10 A, tāpēc parasti jāiz­vēlas minimāli pieļaujamais savienojošo vadu šķērsgriezums no mehāniskās iztu­rības viedokļa.

**3.9. APGAISMOŠANAS TĪKLA STRĀVAS APRĒĶINS**

Saskaņā ar elektroietaišu izbūves noteikumiem vadu un kabeļu minimālie šķērsgriezumi jāizvēlas ne mazāki par 3.5. tabulā uzrādītajiem lielumiem.

Apgaismošanas tīkla aplēses jaudu ar kvēlspuldzēm aprēķina pēc izteiksmi:

 (3.44)

kur *KP* – pieprasījuma koeficients, *PN* – kvēlspuldzes nominālā jauda.

Ja apgaismošanas tīklā izmanto luminiscences spuldzes ar startera aizdedzes shēmu, tad aplēses jaudu aprēķina pēc izteiksmi

|  |
| --- |
|  |
| 3.93. att. Aizsargaparātu raksturlīkņu novietojums: 1 – termorelejs; 2 – drošinātājs; 3 – iedarbošanās drošums; 4 – automātslēdža termoatkabņa iedarbes slieksnis; 5 – termoreleja iedarbes slieksnis; 6 – automātslēdža garantētas iedarbes robežās; 7 – elektromagnētiskais atkabnis; In – nominālā strāva; Ic – pārslodzes strāva; Ir – zemā līmeņa īsslēguma strāva (10∙In ≤ Ir ≤ 50∙In); Iq – īsslēguma strāva (Iq > 50∙In)  **Zema līmeņa īsslēguma strāvas diapazons**  **Pārslodzes diapazons** |

 (3.45)

bet ar bez startera aizdedzes shēmu

 (3.46)

Metāltvaiku gāzizlādes spuldzes gadījumā

 (3.47)

Tātad pirms uzsākam vada vai kabeļa šķērsgriezuma izvēli jāiz­vēlas telpai atbilstošs instalācijas veids un telpas raksturam atbil­stoša vadu marka un pieļaujamais minimālais šķērsgriezums.

Ja apgaismošanai izmanto kvēlspuldzes (*cos φ* = l), aprēķina strāvu nosaka pēc formulām

 — vienfāzes tīklos; (3.48)

— divfāzu tīklos, ja fāzes slogotas vienādi; (3.49)

— trīsfāzu tīklos, ja fāzes slogotas vienādi, (3.50)

kur *Pa* — aprēķina jauda.

3.17. tabula

**Vadu un kabeļu strāvu vadošo dzīslu minimālie šķērsgriezumi**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Vadi un kabeli | Minimālie dzīslu šķērsgriezumi (mm2) | |
| vara | alumīnija |
| Auklas sadzīves elektroenerģijas patērētāju pievienošanai  Kabeļi pārvietojamu un pārnesamu patērētāju pievienošanai rūpniecības ietaisēs  Divdzīslu vītie vadi instalēšanai uz rullīšiem  Neaizsargāti izolēti vadi stacionārai instalācijai telpu iekš­pusē:  a) tieši uz pamata, uz rullīšiem, ar saturplāksnēm un trosēm  b) renēs, kārbās (izņemot slēgtās):  ar dzīslām, ko pievieno ar skrūvēm  ar dzīslām, ko pievieno lodējot:  — viendzīslas  — daudzdzīslu (lokanās)  c) uz izolatoriem  Neaizsargāti izolēti vadi ārējai instalācijai:  a) pa sienām, konstrukcijām vai balstiem uz izolatoriem; ēku ievados  b) zem jumta uz rullīšiem  Neaizsargāti un aizsargāti vadi un kabeļi, kas ievietoti tē­rauda vai lokanās metāla caurulēs, slēgtās kārbās  Kabeļi un aizsargāti izolēti vadi, kas montēti stacionāri (bez caurulēm, lokanām caurulēm un slēgtām kārbām):  ardzīslām, ko pievieno ar skrūvi  ar dzīslām, ko pievieno lodējot:  viendzīslas  daudzdzīslu (lokanie)  Aizsargāti un neaizsargāti vadi un kabeļi slēgtos kanālos vai celtniecības konstrukcijās, zem apmetuma | 0,35  0,75  1  1  1  0,5  0,35  1,5  2,5  1,5  1  1  0,5  0,35  1 | 2,5  2,0  4  4  2,5  2,0  2,0  2,0 |

3.18. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Organizācijas, iestādes, uzņēmumi | Pieprasījuma koeficients, ja apgaismes slodze kW | | | | | | | |
| ≤5 | 6-10 | 10-15 | | 16-25 | 26-50 | 50-100 | 100-200 |
| Sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumi, bērnudārzi, arodskolas darbnīcas | 1 | 0.9 | 0,85 | | 0.8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 |
| Pārvaldes un finanšu organizācijas, vidusskolas, arodskolas, komunālo pakalpojumu uzņēmumi, sadzīves pakalpojumu kombināti | 1 | 0,95 | 0,9 | | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,7 |
| projektu organizācijas, tirdzniecības uzņēmumi | 1 | 1 | 0,95 | | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,75 |
| Viesnīcās | 1 | 0,8 | | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,45 | 0,4 |
| Nelielas rūpniecības ēkas | 1.0 | | | | | | | |
| Lielas rūpniecības ēkas | 0,95 | | | | | | | |
| Rūpniecības ēkas ar lielu atsevišķo telpu skaitu | 0.85 | | | | | | | |

Ja apgaismošanai izmanto luminiscences spuldzes, pat kompen­sētās shēmās nevar panākt jaudas koeficientu, vienādu ar vienu. Tāpēc aprēķinos jaudas koeficientu pieņem šādu: cos *φ* = 0,9–0,95 — shē­mas ar reaktīvās jaudas kompensāciju; cos *φ* = 0,5 — shē­mas bez reaktīvās jaudas kompensāciju; cos *φ* = 0,57 — izlādes spuldzēm HQL, ДРЛ*.*

Aprēķina strāvas nosaka šādi:

 — vienfāzes tīklos; (3.51)

 — divfāzu tīklos; (3.52)

 — trīsfāzu tīklos. (3.53)

**3.10. APGAISMOŠANAS TĪKLU AIZSARDZĪBA**

Apgaismošanas tīklos vadi un kabeļi visos gadījumos jā­aizsargā pret īsslēguma strāvas iedarbību.

Ja tīkla aizsardzība izveidota ar kūstošiem drošinātājiem vai automātiem, kuriem atslēgšanas raksturlīkne ir atkarīga no strāvas, īsslēguma strāvai jābūt trīs reizes lielākai par aizsardzības aparāta nominālo strāvu *IN*:

*Ik* ≥ *Kk*∙*IN* = 3∙*IN*, (3.54)

kur *Ik* – īsslēguma strāva, A;

*Kk* – īsslēguma koeficients.

Ja automātam ir tikai elektromagnētiskā atslēdze, tad automātiem ar nominālo strāvu līdz 100 A īsslēguma strāvai 1,4 reizes jāpārsniedz automāta iestatījuma strāvu (*Kk* = 1,4):

*Ik* ≥ *Kk*∙*Iie* = 1,4∙*Iie*, (3.55)

bet automātiem ar nominālo strāvu virs 100 A īsslēguma strāvai 1,25 reizes jāpārsniedz automāta iestatījuma strāvu (*Kk* = 1,25):

*Ik* ≥ *Kk*∙*Iie* = 1,25∙*Iie*. (3.56)

Īsslēguma strāvu *Ik* zemsprieguma tīklā aprēķina pēc aptuvenas formulas:

 (3.57)

kur *Uf* – fāzes spriegums;

- pilna pretestība cilpai fāzes vads – nullvads, Ω;

*R*0*f* – nullvada un fāzes vada aktīvā pretestība, Ω;

*X*0*f* = *X*0∙*l* - nullvada un fāzes vada reaktīvā (induktīvā) pretestība, Ω;

*X*0 = 0,6 Ω/km;

*ZT* – barojošā transformatora pretestība vienfāzes īsslēguma gadījumā, Ω.

Ēkās un telpās, kur jābūt sevišķi drošai tīkla darbībai vai arī kur uzturas nekvalificēts apkalpošanas personāls, tīkli jāaizsargā arī pret iespējamām pārslodzēm.

Visās telpās pret pārslodzi jāaizsargā apgaismošanas tīkli, kas izveidoti no atklāti instalētiem neaizsargātiem izolētiem vadiem de­gošā apvalkā. Neatkarīgi no instalācijas veida apgaismošanas tīkli pret pārslodzi obligāti jāaizsargā dzīvojamās un sabiedriskās ēkās, tirdzniecības telpās, sadzīves pakalpojumu telpās, rūpniecības uz­ņēmumos, ugunsnedrošās telpās. Neatkarīgi no instalācijas veida ap­gaismošanas tīkli pret pārslodzi jāaizsargā arī sprādzienbīstamās telpās un sprādzienbīstamās āra iekārtās.

Vadu un kabeļa šķērsgriezumi jāizvēlas tā, lai to ilgstoši pieļau­jamās slodzes attiecība pret aizsardzības aparātu nominālo strāvu nebūtu lielāka par 3.19. tabulā uzrādītajiem lielumiem.

Tīkliem, kurus aizsargā pret pārslodzi, drošinātāju kūstošie ielik­tņi vai automātu atslēdze jāizvēlas pēc aprēķina strāvas. Jāievēro arī strāvas maksimums, lai tie neatslēgtos īslaicīgu pārslodžu laikā. Aizsardzības aparāti jāuzstāda vietās, kur barojošai līnijai pievienoti aizsargājamie vadi.

3.19. tabula

**Aizsardzības koeficienta *Kaizs* vērtības (vadu un kabeļu ilgstoši pieļaujamās**

**strāvas *Ip* un aizsardzības aparātu nominālās strāvas *IN* normētās attiecības)**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Instalācijas veids | Telpu raksturojums | Normētā attiecība *Ip /IN* | | | |
| aizsardzība ar kūstošiem drošinātājiem | aizsardzība ar automātiem, kuriem ir termoatslēdze un apgriezti proporcionāla strāvas un laika kavējuma sakarība | | Aizsardzība ar automātiskiem slēdžiem, kuriem ir maksimālā momentānas darbības atslēdze |
| neregu­lējama  atslēdze | regulējama atslēdze |
| **Pret īsslēguma strāvām aizsargājamie tīkli** | | | | | |
| Visa veida instalā­cijas | Visas telpas | ≥ 0,33 | ≥ l,0 | ≥ 0,66 | ≥ 0,22 |
| **Pret pārslodzi aizsargājamie tīkli** | | | | | |
| Atklāti instalēti neaizsargāti izolēti vadi ar degošu apvalku | Sprādziendrošās ražo­šanas telpas |  |  | ≥ l,0 |  |
| Pārējās telpas | ≥ l,25 | ≥ l,0 | ≥ l,0 | ≥ 1,25 |
| Aizsargāti vadi, gumijas un plastmasas izolācijas kabeļi, vadi cau­rulēs | Ugunsnedrošas ražo­šanas telpas |  |  | ≥ l,0 |  |
| Rūpniecības uzņēmu­mi, tirdzniecības, sa­dzīves pakalpojumu, sabiedriskās, dzīvojamās ēkas, sprādziennedrošas iekār­tas | ≥ l,25 | ≥ l,0 | ≥ l,0 | ≥ l,25 |
|  |  |  |  |  |  |

Apgaismošanas tīklu aizsardzībai parasti lieto automātus ar ter­misko aizsardzību. Automātu iestatījuma strāvu *Iie* un drošinātāju kūstošo ieliktņu nominālo strāvu *I Ndr*izvēlas pēc darba strāvas *Id*:

*Iie = Id* ;  *I Ndr* = *Id* (kvēlspuldzēm, luminiscences spuldzēm);

*Iie* = 1,4∙*Id* ; *I Ndr* = 1,2∙*Id* (izlādes spuldzēm HQL, ДРЛ). (3.58)

Kustošo ieliktņu nominālo strāvu *IN dr* un automātisko slēdžu termoatslēdžu un kombinēto atslēdžu iestatījuma strāvu *Iie* grupu līni­jām un barojošām līnijām aprēķina pēc formulām

 (3.59)

kur *Ipal* — palaišanas strāva;

*Id* — darba strāva.

Apgaismošanas tīklos ar cieši zemētu neitrāli jāpārbauda, vai darbojas aizsardzības aparatūra vienfāzes īsslēguma gadījumā.

Lai atvieglotu aprēķinus, rūpniecības ietaisēs atļauts aizsardzības elementa aizsargāšanas spēju pārbaudīt, izmantojot ilgstoši pieļaujamo strāvu, pēc sekojoša noteikuma:

*Ip ≥ Kaizs∙IN*, (3.60)

kur *Kaizs* – aizsardzības koeficients, kuru nosaka no 3.19. tabulas.

Ja noteikums (3.60) nav izpildīts, tīkliem, kurus neaizsargā no pārslodzēm, izdara īsslēguma strāvu aprēķinu. Ja izpildīts noteikums, ka

*Ia* < *Kk*∙*Ik*, (3.61)

tīkls no īsslēguma strāvām ir aizsargāts. Ja šis noteikums nav ievērots, jāizskata iespējas samazināt *Ia*. Bet, ja tas nav iespējams, jāpalielina vadu šķērsgriezums.

**3.11. SPĒKA ELEKTRISKO TĪKLU AIZSARDZĪBA**

Spēka elektriskie tīkli jāaizsargā pret pārslodzi un īsslēgumu. Elektrodzinēji jāaizsargā pret starpfāzu un vienfāzes īsslēgumiem, pārslodzi, pret sprieguma pazemināšanos vai sprieguma pazušanu. Pret pārslodzi aizsarga visus elektrodzinējus, izņemot tos, kuriem darba laikā pārslodze nav iespējama (piemēram, ventilatori, ūdens sūkņi). Aizsardzību pret pārslodzi neizveido arī elektrodzinējiem, kas strādā atkārtoti īslaicīgā režīmā.

Aizsardzību pret sprieguma pazemināšanos uzstāda elektrodzinējiem, ja tos nedrīkst ieslēgt, spriegumam pazeminoties.

Magnētiskajos palaidējos iemontētie termoreleji aizsargā elektrodzinēju pret pārslodzi, bet neaizsargā pret īsslēgumu, jo tiem ir siltuma inerce. Tāpēc vēl papildus uzstāda drošinātājus vai automātus aizsardzībai pret īsslēgumu.

Vadi un kabeļi jāaizsargā pret pārslodzi:

a) ja instalācija izveidota atklāti no neaizsargātiem izolētiem vadiem degošā apvalkā;

b) tīklos no aizsargātiem vadiem vai kabeļiem caurulēs, nedego­šās celtniecības konstrukcijās, ja pēc tehnoloģiskā procesa apstāk­ļiem vai darba režīma iespējama ilgstoša pārslodze;

c) tīklos sprādziennedrošās telpās neatkarīgi no instalācijas iz­pildījuma.

*Aizsardzības aparātu izvēle.* Aizsardzības aparāti, kas aizsargā vadus vai kabeļus pret pārslodzi vai īsslēgumu, jāizvēlas tā, lai drošinātāja kūstošā ieliktņa nominālā strāva *INdr* vai termoreleja iestatījuma strāva *Iie* būtu lielāka par pārbaudāmā tīkla posma aprēķina strāvu *Ia* vai vienāda ar to, tātad

*Ia* ≤ *I N dr*; *Ia* ≤ *Iie*. (3.62)

Aizsardzības aparāta atslēdzes iestatījuma strāva jāizvēlas iespē­jami minimāla, bet tai pašā laikā aparāts nedrīkst iedarboties pēc īslaicīgas pārslodzes. Palaižot īsslēgto asinhrono elektrodzinēju, pa­laišanas brīdī strāva *Ipal* ir 5...7 reizes lielāka par nominālo strāvu. Aizsargājot elektrodzinējus pret īsslēgumu ar kūstošajiem drošinātājiem kūstošā ieliktņa nominālā strāva jāizvēlas šāda:

 (3.63)

kur *Ipal* — elektrodzinēja strāva palaišanas brīdī;

*α* — koeficients, kas atkarīgs no palaišanas apstākļiem un palaišanas ilguma.

Koeficientu *α* izvēlas sekojoši:

* dzinējiem ar viegliem palaišanas apstākļiem (palaišana ir reta, un palaišanas ilgums nepārsniedz 10 sekundes) izvēlas koeficientu *α* = 2,5;
* dzinējiem ar vidējiem palaišanas apstākļiem izvēlas koeficientu *α* = 2,0;
* dzinējiem ar smagiem palaišanas apstākļiem (palaišana ir bieža, un palaišanas ilgums pārsniedz 10 sekundes) izvēlas koeficientu *α* = 1,6.

Metināšanas aparātiem kūstošā ieliktņa nominālā strāva jāizvēlas šāda:

 (3.64)

kur *Iε* – metināšanas aparāta strāva pie noteikta *ε*.

Ja barošanas maģistrāle pievada elektroenerģiju vairākiem patē­rētājiem, bieži maģistrālē lieto kopīgu drošinātāju, ko sauc par *galveno drošinātāju.*

Galvenos drošinātājus izvēlas atkarībā no darba strāvas un palaišanas strāvas brīdī, kad visi elektrodzinēji vai daļa no elektrodzinējiem strādā un ir ieslēgts elektrodzinējs, kuram ir vislielākā pārstrāva (elektrodzinēja palaišanas strāvas un nominālas strāvas starpība)

*Ipārstr = Ipal – IN*.

Lai drošinātāja kūstošais ieliktnis nepārdegtu brīdī, kad ieslēdz elektrodzinēju ar lielāko pārstrāvu, jābūt spēkā nevienādībai

 (3.65)

kur *K*0 — elektrodzinēju vienlaicības koeficients, kas raksturo, kāda elektrodzinēju daļa strādā;

*n —* elektrodzinēju skaits (n-1 — visu elektrodzinēju skaits, atskaitot to elektrodzinēju, kuram ir vislielākā pārstrāva *Ipārstr*);

*Id* — darba strāva; *Id = Kn∙IN (Kn* — elektrodzinēja noslodzes koeficients; *IN* — elektrodzinēja nomi­nālā strāva);

*Ipal* — palaišanas strāva elektrodzinējam, kuram ir lielākā pār­strāva.

Izraudzīto drošinātāja kūstošo ieliktni pārbauda šādi:



kur  — elektrodzinēju darba strāvu summa.

Magnētiskajos palaidējos iemontētajiem termoelementiem ir liela siltuma inerce, un tos izvēlas atkarībā no elektrodzinēja darba strāvas:

*Iie ≈ IMd*, (3.66)

kur *Iie* — termoelementa iestatījuma strāva; *IMd* -elektrodzinēja darba strāva.

Automātu termoatslēdzes iestatījuma strāvu izvēlas pēc šāda noteikuma:

*Iie ≥ I Md*. (3.67)

Automātisko slēdžu elektromagnētiskās atslēdzes momentānās iedarbes strāvai *Imie* jābūt vienādai vai lielākai par iekārtas īslaicīgo maksimālo strāvu *Iīsl*:

*Imie* ≥ l,25∙*Iīsl*. (3.68)

A 3100 sērijas automātu elektromagnētiskās atslēdzes momentānās iedarbes strāvu izvēlas pēc šāda noteikuma:

*Imie*≥ l,5∙*Iīsl*. (3.69)

Asinhronā elektrodzinēja palaišanas brīdī palaišanas strāva *Ipal = Iīsl*.

**3.12. VADU UN KABEĻU ŠĶĒRSGRIEZUMU IZVĒLE**

Vadu un kabeļu šķērsgriezumus izvēlas pēc aprēķina strāvas un pārbauda, vai izraudzīto vadu pret silšanu aizsargā aizsardzības aparatūra. Lai noteikums būtu ie-

vē­rots, jābūt spēkā nevienādībai

 (3.70)

kur *Ip* — vada vai kabeļa pieļaujamā strāva (nosaka no tabulām);

*Ia* — aprēķina strāva;

*K* — koeficients, kuru izvēlas atkarībā no vides maksimālās temperatūras.

Izraudzīto vada šķērsgriezumu vēl pārbauda pēc šāda noteikuma:

 (3.71)

kur *IN dr —* drošinātāja kūstošā ieliktņa nominālā strāva vai aizsar­dzības aparāta iestatījuma strāva;

*Kz* — koeficients jeb ilgstoši pieļaujamās vada vai kabeļa strāvas un aizsardzības aparāta nominālās strāvas nor­mētā attiecība (sk. 3.19. tab.).

Ja elektrodzinējs uzstādīts sprādziennedrošās telpās, vadu un ka­beļu pieļaujamai strāvai jābūt ne mazākai par 1,25∙*Idr* (*I dr* *—* droši­nātāja ieliktņa nominālā strāva).

Ja elektrodzinējs uzstādīts sprādziennedrošās telpās un vadi ir aizsargāti pret pārslodzi, vadu un kabeļu šķērsgriezumus izvēlas at­karībā no elektrodzinēja nominālās strāvas. Pārbauda arī īsslēguma strāvas normētās attiecības *I*p /*IN* (sk. 3.19. tab.).

**4. NODAĻA**

**ELEKTRISKĀS SLODZES**

**4.1. PAMATJĒDZIENI**

Projektējot elektroapgādes sistēmas, izdara virkni tehnisku un tehniski ekonomisku aprēķinu gan *normāla darba režīma*, gan *avārijas režīma*. Arī ekspluatācijā izmanto aprēķina rezultātus. Normālā darba režīmā strāvas elektroapgādes sistēmas elementos ir atkarīgas no pieslēgtās patērētāju jaudas, kas ir laikā mainīgs lielums, jo mainās gan patērētāju noslodze, gan arī to skaits. Elektrouzņēmēju skaitu un to noslodzi galvenokārt nosaka ražošanas tehnoloģija, savukārt apgaismes elektrouzņēmēju skaitu – Saules stāvoklis attiecībā pret zenītu.

Tehnoloģija un Saules stāvoklis ir iepriekš zināmi jeb *determinēti* faktori, bez tiem elektrouzņēmēju jaudu nosaka noteikts skaits *gadījuma* faktoru, tādi kā

* tehnoloģiskā procesa realizēšanā iesaistīto cilvēku un izmantojamo materiālu individuālās īpatnības;
* tehnoloģiskās iekārtas tehniskais stāvoklis atkarībā no tās darbmūža;
* apkopes kvalitātes un biežuma;
* dabiskā apgaismojuma atkarība no mākoņainuma un atmosfēras tīrības utt.

Elektrisko slodžu noteikšanai piemērotus matemātiskus paņēmienus dod *varbūtību teorija* un *matemātiskā statistika*. Lietojot šos paņēmienus, rēķinos un analīzē vienlaikus var ievērot gan determinētos, gan gadījuma faktorus, bet elektriskā tīkla jebkura mezgla slodzes izmaiņu uzlūkot kā *stohastisku procesu*.

Mezglu slodzes atšķiras gan ar patērētāju skaitu, gan ar to raksturu. Līdz ar to gadījuma faktoru ietekme uz dažādu mezglu slodzēm ir krasi atšķirīga, un līdztekus elektrisko slodžu aprēķina un analīzes metodēm, kas pamatojas uz varbūtību teorijas atziņām un ir lietojamas jebkuram tīkla mezglam, praksē lieto arī vienkāršākas metodes, kuras neizmanto varbūtību teoriju. Kā zināms, gadījuma faktoru ietekmei mazāk ir pakļauti procesa vidēji lielumi nekā momentānās vērtības. Runa ir par noteiktā laika intervālā aprēķinātu procesa vidējo vērtību. Turklāt elektriskā tīkla lielākās daļas mezglu vedējā slodze diennakts vai maiņas laikā nav atkarīga no gadījuma faktoriem, tāpēc elektrisko slodzi pieskaita pie *stacionāriem* stohastiskiem procesiem.

Pamatprincips tehniskajiem aprēķiniem elektriskajās sistēmās ir to analīze smagākajos darba apstākļos. Tā, piemēram, lai veiktu elektriskās sistēmas elementu silšanas aprēķinu, kurā uzdevums ir noskaidrot, vai vadītāju materiālu temperatūra nepārsniedz pieļaujamo, izvēlas tādu sistēmas režīmu, kurā sasiluma temperatūra nepārsniedz pieļaujamo, izvēlas tādu sistēmas režīmu, kurā sasiluma temperatūra sasniedz lielākās vērtības. Aprēķinā lieto nemainīgu īpaši izraudzītu strāvas vērtību *Ia* – aplēses (aprēķina) strāvu. *Par aplēses* (aprēķina) *strāvu* sauc tādu laikā nemainīgu strāvas vērtību *Ia*, kas izraisa vadītāju materiālu tādu pašu sasiluma temperatūru kā faktiskā, laikā mainīgā slodze.

Ja ir zināms strāvas izmaiņas likums laikā *I*(*t*), tad aplēses (aprēķina) strāvu aizstāj ar vidējo strāvu

 (4.1)

vai vidējo kvadrātisko strāvu

 (4.2)

Integrēšanas intervālu *T* izvēlas tādu, lai apskatāmā tīkla elementa temperatūra sasniegtu nostabilizējušos vērtību. Aprēķinātā temperatūra atšķiras no nostabilizējušās par 5%, ja pieņem

*T* = 3*Ө*, (4.3)

kur *Ө* - apskatāmā tīkla elementa silšanas laika konstante.

Dažādu elektriskās sistēmas elementu silšanas laika konstantes vidējā vērtība ir 10 min. tas nozīmē, ka aplēses strāvas noteikšanai jāņem laika intervāls 3*Ө* = 30 min = 0,5 h. Savukārt pusstundas laikā visiem tīkla elementiem ar labu precizitāti *Ivk* ≈ *Iv*. Līdz ar to nonākam pie šādas konstruktīvas aplēses strāvas noteikšanas paņēmiena, ja zināms strāvas izmaiņas likums *I* = *I*(*t*).

Par *aplēses (aprēķina) strāvu var pieņemt vislielāko pusstundas laikā aprēķināto vidējo strāvu* jeb matemātiskā pierakstā

 (4.4)

kur iekavās uzrādīta vidējā strāva pusstundas laikā saskaņā ar izteiksmi (4.1), bet simbols *max* norāda, ka tiek ņemta vislielākā vidējā strāvas vērtība, kas noteikta dažādos pusstundas intervālos.

Aplūkotā aplēses strāva nav lietojama tādiem aprēķiniem, kuros jāievēro salīdzinājumā ar pusstundu īslaicīgākas impulsveida slodzes izmaiņas. Šādas īslaicīgas slodzes izmaiņas ir saistītas ar dzinēju palaišanu, kā arī ar nenoslogotu transformatoru pieslēgšanu. Dzinēju palaišanas strāvas un transformatoru magnetizēšanas pārejas strāvas ir viens no pamatnosacījumiem drošinātāju un ātrdarbīgu aizsardzības aparātu izvēlei. Šīs strāvas izraisa arī sprieguma svārstības tīklā. Tāpēc aprēķinos rodas vajadzība pēc īpašas slodzes – *galotnes aplēses (aprēķinu) strāvas*.

Ar aplūkotajām divām aplēses (aprēķina) strāvām, t.i., strāvām, kas raksturo sasilumu un īslaicīgās slodzes izmaiņas, iespējams veikt visus elektrotehniskos aprēķinus normālam darba režīmam, tādējādi samazinot aplēses (aprēķinu) slodžu noteikšanas darba apjomu. Taču veicot tādus elektrotehniskos aprēķinus kā elektroenerģijas patēriņa, elektroenerģijas zudumu, elektriskās sistēmas ekonomiskuma novērtējumu, kur aplūkojamais laika periods ir liels – parasti viens gads -, rodas nepieciešamība šos aprēķinus ar mākslīgiem paņēmieniem pielāgot pusstundas aplēses slodzes izmantošanai. Pat izdarot šādu pielāgošanu, aprēķinu ne vienmēr ir pietiekami precīzi. Elektroenerģijas patēriņu nosaka vidējā slodze aprēķina periodā, piemēram, vidējā gada slodze, ko var aprēķināt pēc izteiksmes (4.1.), savukārt elektroenerģijas zudumus nosaka vidējā kvadrātiskā strāva (sk. (4.2)). Tāpēc aprēķinos var rasties vajadzība izmantot arī vidējo strāvu un vidējo kvadrātisko strāvu. Savukārt jāatzīmē, ka šīs divas strāvas izmanto vairākās aplēses strāvas noteikšanas metodēs.

**4.2. IEKĀRTAS DARBĪBAS REŽĪMI UN ELEKTROIEKĀRTU**

**KLASIKĀCIJA**

Pēc patērētāja darbības ilguma izšķir trīs darbības režīmus.

1. *Ilgstošais darbības režīms* – elektroietaise dotajos dzesēšanas apstākļos pēc zināma laika sasniedz noteiktu temperatūru, kura paliek nemainīga visu tālāko darbības laiku. Ja patērētāja jauda nepārsniedz nominālo, normālos dzesēšanas apstākļos temperatūra nepārsniedz noteikto normatīvo robežtemperatūru (4.1. att. *a*).

2. Īslaicīgais darbības režīms – elektroietaises temperatūra līdz atslēgšanas brīdim nesasniedz nemainīgu vērtību, bet pēc atslēgšanas atdziest līdz sākotnējai temperatūrai (4.1. att. *b*).

3. Atkārtotais īslaicīgais darbības režīms – elektroietaises temperatūra līdz atslēgšanas brīdim nesasniedz nemainīgu vērtību, bet līdz jaunai ieslēgšanai nespēj atdzist līdz sākotnējai temperatūrai, pie kam darba un atslēgšanas ciklu summārais ilgums nepārsniedz 10 min (4.1. att. *c*).

Atkārtoti īslaicīgo režīmu raksturo ar relatīvo ieslēgšanas ilgumu, ko bieži izsaka procentos

 (4.5)

kur *td* – darba perioda ilgums; *tc* – cikla ilgums.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

4.1. att. Elektroietaises darbības grafiki ilgstošā (*a*), īslaicīgā (*b*) un atkārtoti īslaicīgā (*c*) režīmā.

Rūpniecības uzņēmumu tehnoloģisko iekārtu galvenā piedziņa un mehānismi parasti strādā ilgstošā darba režīmā.

Īslaicīgā režīmā strādā tehnoloģisko iekārtu un mehānismu palīgdzinēji.

Atkārtoti īslaicīgā darba režīmā strādā celšanas mašīnu un mehānismu un līdzīga rakstura mehānismi.

Patērētājus pēc sprieguma iedala sekojoši:

1. patērētāji ar spriegumu līdz 1000 V;

2. patērētāji ar spriegumu virs 1000 V.

Pēc strāvas veida patērētāju iedalījums ir sekojošs:

1. maiņstrāvas patērētāji ar rūpniecības frekvenci (50 Hz);
2. līdzstrāvas patērētāji;
3. patērētāji ar paaugstinātu vai pazeminātu frekvenci.

**4.3. UZSTĀDĪTĀ, NOMINĀLĀ UN APRĒĶINA JAUDA**

Par *uzstādīto jaudu* sauc patērētāja pase uzrādīto jeb *nominālo jaudu*.

Elektrodzinēji atkarība no mehānisma, ko tie piedzen, var būt vairāk vai mazāk noslogoti. Ja mehānisma slodze mainās, mainās arī dzinēja noslogojums. To jaudu, kuru dzinējs faktiski patērē no barojošā tīkla, sauc par pieprasīto jaudu.

Tā kā dzinēja jauda tehnoloģiskajā procesā bieži mainās, rodas grūtības vadu šķērsgriezumu izvēlē. Tādēļ vada šķērsgriezumu izvēlas pēc aprēķina (aplēses) jaudas nevis pēc pieprasītās jaudas.

Par *aprēķina* (*aplēses*) *jaudu* sauc tādu pieņemtu nemainīgu jaudu, kad ilgstošā darba režīmā elektroapgādes elementos izdalās tāds pats siltuma daudzums kā pie mainīgas slodzes. Aprēķina (aplēses) jaudu izmanto visu elektrisko tīklu aprēķināšanai un aprēķina (aplēses) strāvas noteikšanai.

**4.4. VISPĀRĪGAS ZIŅAS PAR SLODŽU GRAFIKIEM**

Saražoto elektroenerģiju nevar uzkrāt rezervē, tāpēc ģeneratoriem elektrostacijās jebkurā laika sprīdī jāražo tik daudz elektroenerģijas, cik nepieciešams pieslēgto patērētāju barošanai. Ģeneratoriem jāražo vēl arī papildu elektroenerģiju, lai segtu zudumus elektriskajā tīklā un barotu elektroenerģijas patērētājus pašā elektrostacijā. Elektroenerģijas patēriņš gada, mēneša un diennakts laikā mainās, jo mainās ieslēgto un atslēgto patērētāju skaits, mainās atsevišķo patērētāju noslogojums. Lai elektrostacijas strādātu ekonomiski, elektriskā slodze starp elektrostacijām, starp vienas elektrostacijas ģeneratoriem jāsadala pareizi. Lai šo uzdevumu veiktu, ekspluatācijas personālam jāzina, kā gada, mēneša, diennakts laikā mainīsies pieprasījums pēc elektroenerģijas. Ja zināms elektroenerģijas patēriņa izmaiņas, ekspluatācijas personāls var sagatavot darbam nepieciešamo ģeneratoru skaitu, slodzes samazinājuma gadījumā atslēgt nepilnīgi noslogotus ģeneratorus. Slodzes svārstības energosistēmā sadala starp paralēli strādājošām elektrostacijām tā, lai energosistēmas darbs būtu ekonomisks.

Elektroenerģijas pieprasījuma rakstura izmaiņas attēlo slodžu grafiki – diagrammas. Tās konstruē, uz abscisu ass atliekot laiku (gados, mēnešos, diennakts stundās), bet uz ordinātu ass – elektrisko slodzi.

Maiņstrāvas ķēdēs slodzi raksturo vai nu ar vienu no līdzvērtīgiem pilnās jaudas *S* = *S*(*t*) vai strāvas *I* = *I*(*t*) grafikiem, vai arī vienlaikus ar diviem atsevišķiem aktīvās jaudas *P* = *P*(*t*) un reaktīvās jaudas *Q = Q*(*t*) grafikiem. Tā kā minētās funkcionālās sakarības reālos elektriskajos tīklos ir sarežģītas, tad tās dod grafiskā veidā. Jāatzīmē, slodžu grafisko attēlošanas paņēmienu lieto ne tikai tāpēc, ka tas ir praktiski realizējams un uzskatāms, bet arī tāpēc, ka mainīgas slodzes īpatnības salīdzinājumā ar nemainīgu slodzi ir atkarīgas tikai no grafika formas un nav atkarīgas no slodzes absolūtās vērtības.

Uz slodzes grafiku izmantošanu pamatojas aplēses (aprēķina) strāvu noteikšanas metodes, bet atsevišķos gadījumos, kad šie grafiki ir pieejami, no tiem tieši var noteikt aplēses strāvas. Sīkāk iepazīsimies ar dažādiem slodzes grafiku veidiem, kurus praksē visbiežāk lieto.

*Pēc slodzi raksturojošā lieluma* sinusoidāla maiņsprieguma ķēdēs izšķir četrus slodzes grafiku veidus – *strāvas*, kā arī *pilnās*, *aktīvās* un *reaktīvās jaudas* grafikus. Strāvas un pilnās jaudas grafikus var iegūt no aktīvās un reaktīvās jaudas grafikiem saskaņā ar elektrotehnikas likumiem.

Tālākās klasifikācijas pazīmes attiecas uz minētajiem četriem slodzes grafiku veidiem. Līdzsprieguma ķēdes raksturo ar diviem līdzvērtīgiem slodzes grafikiem – strāvas un jaudas grafiku.

*Pēc laika ilguma* grafikus iedala *diennakts* un *gada* grafikos, dažreiz izmanto arī mēneša slodzes grafiku. Diennakts slodzes grafiks attēlo slodzes izmaiņas diennakts laikā, mēneša slodzes grafiks – mēneša laikā, gada slodzes grafiks – gada laikā.

Diennakts grafikiem redzami izteiktas atšķirības lietošanas biežuma ziņa nevienam no četriem to veidiem nav.

No gada slodzes grafikiem praksē visbiežāk izmanto aktīvās jaudas grafiku. Gada slodzes grafiku var konstruēt pēc diennakts grafikiem. Šai nolūkā izšķir darbdienas un brīvdienas, raksturīgās ziemas un raksturīgās vasaras perioda dienas, dažkārt arī maksimāli noslogotās dienas grafikus. Par raksturīgo ziemas vai vasaras dienu uzskata tādu, kurā ir šī perioda vidējais elektroenerģijas patēriņš. Savukārt maksimāli noslogoto dienu raksturo vislielākais elektroenerģijas patēriņš.

Atsevišķiem elektroenerģijas patērētājiem slodze izmainās noteiktā sezonā. Tā, piemēram, graudu kaltēm elektriskā slodze strauji palielinās ražas novākšanas laikā, bet pārējā laikā slodze ir maza. Šādiem patērētājiem konstruē sezonas slodzes grafiku.

Cikliski strādājošiem elektrouznēmējiem slodzes grafikus zīmē vienam darbības periodam.

*Pēc patērētāju skaita* izšķir *individuālos* un *grupu* slodzes grafikus. Pētot individuālos un grupu grafikus var pārbaudīt teorētiski iegūtās elektrouzņēmēju grupu slodžu likumsakarības, pārbaudot arī aplēses slodžu noteikšanas metodes. Slodžu grafikus konstruē atsevišķiem patērētājiem, apakšstaciju transformatoriem, elektrostaciju ģeneratoriem, elektrostacijai, energosistēmai.

*Pēc grafika uzņemšanas* vai *attēlošanas veida* tos iedala *nepārtrauktos* un *pakāpjveida* grafikos. Eksperimentāli nepārtrauktos grafikus iegūst ar atbilstošiem pašrakstošiem mēraparātiem, bet pakāpjveida grafikus -, pierakstot elektroenerģijas skaitītāju rādījumus parasti pēc vienādiem laika intervāliem. Tā, piemēram, uzņemot aktīvās jaudas diennakts grafiku, izmanto skaitītāja rādījumu pierakstus ik pēc stundas, katras stundas robežās jaudu pieņem vienādu ar vidējo pēc skaitītāja rādījumiem. Grafiks kopumā var saturēt līdz 24 pakāpēm ar lēcienveida jaudas izmaiņām. Jāatzīmē, ka pakāpjveida grafikus var skaitliski apstrādāt ar elementārākām metodēm nekā nepārtrauktos grafikus.

**4.5. DIENNAKTS SLODŽU GRAFIKI**

Elektroenerģijas patērētājus atkarībā no elektroenerģijas patēriņa rakstura var iedalīt

* rūpniecības,
* komunālajos-sadzīves,
* transporta, celtniecības,
* lauksaimniecības uzņēmumos.

Katrai elektroenerģijas patērētāju grupai ir noteikts slodzes raksturs (4.2. att.). Tā, piemēram, dzīvojamo māju, uzņēmumu, slimnīcu, ielu apgaismošanas slodze dienā ir neliela, bet savu maksimumu sasniedz no rīta un vakarā. Rūpnīcu elektriskā slodze darba laikā ir samērā vienmērīga, tā ir atkarīga no strādājošo maiņu skaita un uzņēmuma darba režīma. Ja atsevišķo patērētāju slodžu maksimumi sakrīt, summārā slodze var strauji palielināties. Lai nepārslogotu ģeneratorus, lai īslaicīgi nebūtu jāpalaiž atsevišķi ģeneratori un pēc tam tie jāapstādina, kopējo diennakts slodzes grafiku var regulēt, nosakot atsevišķiem uzņēmumiem atšķirīgus maksimālās slodzes laikus.

|  |
| --- |
|  |

4.2. att. Diennakts aktīvas un reaktīvas slodzes grafiks: *а* – uzņēmums strādā viena maiņā;

*b* – uzņēmums strādā divas maiņas; *c* – uzņēmums strādā trīs maiņas; *d* – komunālajā–sadzīves slodze; *e* – ielas apgaismojums; *f* – ūdensvads un sūkņu stacijas.

Slodzes grafiku var konstruēt pēc mēraparātu rādījumiem, fiksējot mēraparātu rādījumus noteiktos laika intervālos, vai arī izmantojot pašrakstošos mērinstrumentos. Nepārtrauktais slodzes grafiks attēlo patieso slodzes izmaiņu, tāpēc to izmanto aprēķinos un projektēšanā. Pakāpjveida slodzes grafiks pieņemtā laika intervālā mainīgu slodzi attēlo kā nemainīgu slodzi (4.3. att.). Pakāpjveida slodzes grafikā, tāpat kā nepārtrauktajā slodzes grafikā, jāsakrīt slodzes minimumiem un maksimumiem, grafiku laukumiem jābūt vienādiem.

Lai konstruētu diennakts slodzes grafiku, aprēķina katra elektrodzinēja patērēto aktīvo jaudu *P* un reaktīvo jaudu *Q*, atzīmē katra elektrodzinēja darba stundas diennakts laikā. Aprēķina arī darba apgaismojuma jaudu un dežūrapgaismojuma jaudu, tabulā atzīmē apgaismojumu ieslēgšanas laikus. Ja zināmi katra elektroenerģijas patērētāja aprēķina jauda un darba laiks diennaktī, saskaita katrā diennakts stundā pieslēgto elektroenerģijas patērētāju jaudas, atrod diennakts slodžu grafika katras stundas aprēķina jaudu, kuru izmanto diennakts slodžu grafika konstruēšanai (4.3. att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  | 4.3. att. Pakāpjveida diennakts slodzes grafiks |

Objekta diennakts slodzes grafiku var arī konstruēt, izmantojot elektroenerģijas skaitītāja rādījumus. Ja ēkas ievada sadalē uzstādīts aktīvās elektroenerģijas skaitītājs, par vidējo stundas jaudu var pieņemt skaitītāja uzrādīto patērētās elektroenerģijas daudzumu stundas laikā. Vidējo stundas jaudu apgaismošanas tīklā nosaka, reizinot viena gaismas punkta patērēto jaudu ar ieslēgto gaismas punktu skaitu. Ja telpā uzstādīti gaismas punkti ar dažādu jaudu, vidējo stundas jaudu nosaka, summējot katra gaismas punkta patērēto jaudu.

Zinot slodzes grafiku, viegli var aprēķināt dažādus tehniski ekonomiskos rādītājus. Tā, piemēram, *laukums zem grafika līknes izsaka elektroenerģijas Wd patēriņu* (vai ražošanu) diennakts laikā. Jebkura patērētāja diennakts slodzes grafiku raksturo šādi parametri: *slodzes maksimums Pmax*, *slodzes minimums Pmin*, *vidēja slodze diennaktī*  un *grafika aizpildījuma koeficients*



Grafika aizpildījuma koeficients *Kaizp* ir svarīgs slodzes grafika parametrs, un tā lielums katrai patērētāju grupai ir nemainīgs. Tā, piemēram, komunālai slodzei *Kaizp* = 0,45-0,46 (ziemā) un 0,25-0,4 (vasarā), divmaiņu rūpniecības uzņēmumiem *Kaizp* = 0,75, bet trīsmaiņu - *Kaizp* = 0,9-0,95.

Lai visefektīvāk izmantotu elektroapgādes iekārtas, ražotu vairāk elektroenerģijas, kā rezultātā samazinātos tās pašizmaksa, jācenšas maksimāli palielināt *Kaizp* vērtību, t. i., slodzes grafika jāsamazina starpība starp *Pvid* un *Pmax*.

**4.6. GADA SLODZES ILGUMA GRAFIKS**

Zinot diennakts slodzes grafiku, var uzzīmēt arī gada slodzes grafiku jeb t. s. gada slodzes ilguma līkni. Tā ļauj precizēt nepieciešamās elektroenerģijas ražošanu gadā, pareizi izvēlēties elektrostacijā strādājošo agregātu skaitu vai transformatoru skaitu apakšstacijā, kā arī noteikt katra agregāta vai transformatora ekonomiskāko darba režīmu. Diennakts slodžu grafiki gada laikā ir atšķirīgi, un praktiski var uzskatīt, ka tie nemainās tikai noteiktos mēnešos.

Ja uzņemts slodzes grafiks ziemā un vasarā, var konstruēt gada (4.4. att.) vai mēneša slodzes grafiku. Vidējais diennakšu skaits gadā ir 365, tātad stundu skaits gadā ir 24 x 365 = =8760 h. Uz abscisu ass atliek 8760 h, uz ordinātu ass – slodzes *P*max… *P*min. No ziemas diennakts slodzes grafika nosaka slodzes *P*1, *P*2, …, *Pm* un pareizina ar ziemas dienu skaitu. Līdzīgi izmanto arī vasaras diennakts slodzes grafiku. Gada slodzes ilguma grafikā slodzes atliek dilstošā kārtībā. Ziemas periodu var pieņemt 210 dienas, vasara periodu – 155 dienas. Gada slodzes ilguma grafikā uz attiecīgajām horizontālēm atliek stundu skaitu, cik ilgi dotā slodze (piemēram, *Pmax*) darbojas gada laikā. Šo stundu skaitu atrod, pareizinot dotā diennakts grafika slodzes darbības laiku (stundās) ar diennakšu skaitu gadā.

Laukums zem gada slodzes ilguma līknes izsaka gada laikā patērētās (vai ražotās) elektroenerģijas daudzumu *Wa*:

 (4.6)

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |
| ***c*** | ***d*** |

4.4. att. Gada slodzes grafiks: *а* – pēc maksimālās slodzes gadā; *b*, *c* – pēc slodzes ilguma gadā; *d* – pēc maksimālām slodzēm mēnesī

Ja zināms gada slodzes ilguma grafiks, var aprēķināt

1. elektrostacijas vai patērētāja *noslodzes koeficientu*

 (4.7)

kur *Wa* – aktīvās elektroenerģijas daudzums;

*t*  - darba laiks, kuram grafiks konstruēts;

*Pmax* – maksimālā slodze.

b) elektrostacijas vai patērētāja *vidējo slodzi*

 (4.8)

c) elektrostacijas vai patērētāja *maksimuma izmantošanas laiku*

 (4.9)

d) elektrostacijas vai patērētāja *uzstādītās jaudas izmantošanas* jeb *noslodzes koeficientu*

 (4.10)

kur *Puzst* – uzstādītā summārā jauda.

Lai kontrolētu slodzes izmaiņas, katru dienu maksimālās slodzes laikā izmēra faktisko slodzi. Pēc mērījumu datiem konstruē ikmēneša maksimālās slodzes grafiku.

**4.7. ENERĞIJAS ZUDUMI TĪKLĀ UN TRANSFORMATOROS.**

Enerģijas zudumus tīklā aprēķina pēc formulas



kur Δ*WL* - enerģijas zudumi tīklā, kWh;

*Im* – maksimālā strāva līnijā, A;

*RL* – līnijas vada aktīvā pretestība, Ω;

*τ* – zudumu laiks, h.

Zudumu laiku var atrast, ja zināms aktīvās un reaktīvās jaudas slodzes grafiki, pēc formulas



kur - maksimāla patērētāja slodze, kVA.

Maksimālās slodzes izmantošanas laiks gadā T (h) var aprēķināt, ja zināms enerģijas patēriņš gadā *Wg* (kWh) un maksimālā slodze *Pm*

,

Ja dots slodzes grafiks, tad maksimālās slodzes izmantošanas laiku var aprēķināt pēc formulas



kur *P* – atsevišķas aktīvās slodzes lielums;

Δ*t* - atsevišķas aktīvās slodzes ilgums.

Maksimālās slodzes izmantošanas laiks ir atkarīgs no slodzes rakstura un maiņu skaita (sk. 4.1. tab.)

4.1. tabula

**Maksimālās slodzes izmantošanas laiks**

|  |  |
| --- | --- |
| **Maiņu skaits uzņēmumā (slodze)** | **T, h** |
| Viena maiņa | 1800-2500 |
| Divas maiņas | 3500-4500 |
| Trīs maiņas | 5000-700 |

*Piezīme.* Apgaismošanas slodze T = 1500 – 2000 h.

Enerģijas zudumus transformatorā aprēķina pēc formulas



vai arī



kur  - transformatora maksimāla slodze, kVA.

*t* – transformatora darba stundu skaits gadā, h.

***4.1. piemērs.*** Noteikt enerģijas zudumus gadā līnijā un transformatorā, ja ir zināmi tīklā un transformatora dati (4.5. att.) un diennakti slodzes grafiks (4.6. att.).

|  |  |
| --- | --- |
| 4.5. att. Shēma 4.1. piemēram | 4.6. att. Diennakts slodzes grafiks |

Atrisinājums.

1. Sastādīsim tabulu ar nepieciešamiem datiem:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Dati no grafika** | | **Aprēķina dati** | | | |
| ***P*,**  **kW** | ***Q*,**  **kVAr** | ***S*2,**  **kW2** | **Δ*t*,**  **h** | ***P*·Δ*t*,**  **kWh** | ***S*2·Δ*t*,**  **kVA2·h** |
| 200 | 200 | 80 000 | 4 | 800 | 320 000 |
| 200 | 300 | 130 000 | 4 | 800 | 520 000 |
| 500 | 400 | 410 000 | 4 | 2000 | 1 640 000 |
| 500 | 400 | 410 000 | 4 | 2000 | 1 640 000 |
| 400 | 300 | 250 000 | 4 | 1600 | 1 000 000 |
| 300 | 200 | 130 000 | 4 | 1200 | 520 000 |
| Summa: | | | 24 | 8400 | 5 640 000 |

2. Aprēķināsim zudumu laiku diennaktī



3. Zudumu laiks gadā

*τ* = 365·*τd* = 365·13,7 = 5000 h.

4. Maksimālās slodzes izmantošanas laiks diennaktī



5. Maksimālās slodzes izmantošanas laiks gadā

*T* = 365·*Td* = 365·16,8 = 6132 h.

6. Slodzes maksimāla pilnā jauda



7. Slodzes maksimāla strāva



8. Līnijas aktīva pretestība

*RL = R*0·*l* = 0,64·2,5 = 1,6 Ω.

9. Enerģijas zudumi tīklā



10. Enerģijas zudumi transformatorā



11. Kopējas enerģijas zudumi



12. Enerģijas patēriņš gadā

*W = Pm·T* = 500·6132 = 3 066 000 kWh.

13. Enerģijas zudumi gadā procentos



**4.8. ELEKTRISKO SLODŽU APRĒĶINA METODES**

Viens no elektroapgādes pamatjautājumiem ir patērētāju aprēķina slodzes noteikšana. Lai aprēķinātu slodzi ietaisēs ar spriegumu līdz 1000 V, lieto vairākus metodes.

**1. Aplēses slodzi pielīdzina nominālajai patērētāja jaudai.**

Taču slodzes grafiki nav tieši saistīti ar nominālajām slodzēm. Tāpēc slodžu noteikšanai papildus jāizmanto lielumi, kurus var izmantot grafiku raksturlielumu saistīšanai ar nominālo slodzi. Šai ziņa svarīgākie ir noslodzes koeficients *Kn*, izmantošanas koeficients *KI* un slēgumlaika koeficients *KS*. Šos visus trīs koeficientus lieto gan elektrouzņēmēju, gan arī grupu raksturošanai, turklāt grupu raksturojošos koeficientus var aprēķināt, zinot tādus pašus elektrouzņēmēju koeficientus un nominālās slodzes.

Vispirms apskatīsim šos koeficientus aktīvās jaudas gadījumā elektrouznēmējiem.

Par *noslodzes koeficientu sauc slēgumlaika vidējās jaudas PV.S attiecību pret nominālo jaudu PN* :

 (4.11)

Bet par izmantošanas koeficientu – vidējās jaudas attiecību pret nominālo jaudu:

 (4.12)

Ja patērētājs strādā ar pārtraukumiem, tad šāda patērētāja raksturošanai lieto slēgumlaika koeficientu jeb relatīvo ieslēguma laiku

 (4.13)

kur *tS* – kopējais slēgumlaiks, kurā patērētājs saņem enerģiju no tīkla; *t* – kopējais darba laiks.

No šiem trim koeficientiem neatkarīgi ir tikai divi *KS* un *KI*. Katrs no koeficientiem raksturo neatkarīgu faktoru, kas nosaka elektrouzņēmēju vidējo noslodzes pakāpi: *KS* – slēgumlaiku, bet *Kn* – vidējo noslodzi šajā laikā. Izmantošanas koeficients vienlaikus ievēro abus faktorus

*KI* = *KS*∙*Kn*. (4.14)

Šādu metodi izmanto tad, ja ir tikai viens patērētājs.

**2.Aplēses slodzi pielīdzina vidējai slodzei**. Šo metodi praksē lieto reti, jo maksimālās slodzes laikā elektrobarošanas elementi, kas izvēlēti pēc vidējās jaudas, būs pārslogoti. Vidējo jaudu aprēķins pēc formulas

*PV* = *KI ∙PN*, (4.15)

kur *PN* –nominālā jauda;

*KI* – izmantošanas koeficients, kuru var atrast 4.2. tabulā.

4.2. tabula

**Jaudas un izmatošanas koeficienti metālapstrādāšanas rūpniecībā**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Elektropatērētāji** | **Koeficienti** | | |
| **izmantošanas *KI*** | **jaudas**  **cos*φ*** | **pieprasījuma**  ***KP*** |
| Remont-mehāniskais | 0,2-0,3 | 0,65-0,75 | 0,2-0,3 |
| Metālgriešanas darbmašīnas neliela sērijveida ražošanā (frēzmašīnās, virpās, urbjmašīnās, drāzmašīnās, karuseļvirpās utt.) | 0,12-0,14 | 0,4-0,5 | 0,14-0,16 |
| Tas pats liela sērijveida ražošanā | 0,16 | 0,5-0,6 | 0,2 |
| Štancēšanas spiednēs, automāti; lielgabarītā darbmašīnas (frēzmašīnās, virpās, urbjmašīnās, drāzmašīnās, karuseļvirpās utt.) | 0,17 | 0,65 | 0,25 |
| Vilkšanas, kalšanas, vesera darbmašīnas piedziņa | 0,2-0,24 | 0,65 | 0,35-0,40 |
| Pārnesamais elektroinstruments | 0,06 | 0,5 | 0,1 |
| Ventilatori, ventilatoru iekārtas, apkure | 0,6 | 0,8 | 0,70 |
| Sūkņu, kompresoru, skābekļa stacijas ar zemsprieguma dzinējiem, dizeļğeneratori | 0,7 | 0,8 | 0,8 |
| Tas pats ar augstsprieguma dzinējiem  asinhronajiem  sinhronajiem | 0,75—0,85 0,75—0,85 | 0,8—0,9 0,9—0,95 | 0,85 |
| Gāzģeneratoru stacijas | 0,4—0,6 | 0,7—0,8 | 0,75 |
| Elevatori, transportieri, nebloķētie konveijeri | 0,4 | 0,75 | 0,5 |
| Elevatori, transportieri, bloķētie konveijeri | 0,55 | 0,75 | 0,65 |
| Metināšanas transformatori (elektrometināšana) | 0,2 | 0,4 | 0,3 |
| Metināšanas ģeneratori (vienposteņu) | 0,3 | 0,6 | 0,35 |
| Metināšanas ģeneratori (daudzposteņu) | 0,5 | 0,7 | 0,7 |
| Metināšanas šuvmašīnas | 0,2-0,5 | 0,7 | 0,6 |
| Punktmetināšanas iekārtas | 0,2-0,25 | 0,6 | 0,6 |
| Elektrometināšanas automāti | 0,35 | 0,5 | 0,5 |
| Sildīšanas iekārtas, karsēšanas krāšņi ar automātisku piekraušanu, kaltēšanas skapji | 0,75 | 0,95 | 0,8 |
| Karsēšanas krāšņi ar rokas piekraušanu | 0,5 | 0,95 | 0,8 |
| Zemfrekvences indukcijas krāšņi | 0,7 | 0,35 | 0,8 |
| Celtnis, telfers (motortrīsis) ar *ε* = 25% | 0,05 | 0,5 | 0,1 |
| Celtnis, telfers ar *ε* = 40% | 0,1 | 0,5 | 0,2 |
| Noliktavas, veikali | 0,6—0,8 | 0,8—1,0 | 0,6—0,8 |

**3.Aplēses slodzi pielīdzina maksimālajai jaudai, kuru patērē no tīkla.**

Maksimālo jaudu aprēķina pēc formulas

*Pa = KM∙PV*, (4.16)

kur *KM* - maksimuma koeficients, kuru atrod no nomogrammām vai tabulām atkarībā no izmantošanas koeficienta un efektīvā strāvas patērētāju skaita (4.3. tabula).

No tabulas redzams, ka lielām patērētāju grupām, kad *ne* → ∞ neatkarīgi no patērētāju darba režīma *KM* = 1 un *Pa = Pv*. Tāpēc praktiskos aprēķinos, ja *ne* ≥ 200, visos gadījumos ņem *KM* = 1 un *Pa = Pv*.

4.3. tabula

**Maksimuma koeficienta *KM* atkarība no patērētāju skaitu *ne* un izmantošanas**

**koeficienta *KI* vērtības elektriskajam tīklam ar spriegumu līdz 1 kV**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***ne*** | **Maksimuma koeficienta *KM* atkarība no *KI*** | | | | | | | | |
| **0,1** | **0,15** | **0,2** | **0,3** | **0,4** | **0,5** | **0,6** | **0,7** | **0,8** |
| 1 | 8,00 | 5,33 | 4,00 | 2,67 | 2,00 | 1,60 | 1,33 | 1,14 | 1,0 |
| 2 | 6,22 | 4,33 | 3,39 | 2,45 | 1,98 | 1,60 | 1,33 | 1,14 | 1,0 |
| 3 | 4,05 | 2,89 | 2,31 | 1,74 | 1,45 | 1,34 | 1,22 | 1,14 | 1,0 |
| 4 | 3,24 | 2,35 | 1,91 | 1,47 | 1,25 | 1,21 | 1,12 | 1,06 | 1,0 |
| 5 | 2,84 | 2,09 | 1,72 | 1,35 | 1,16 | 1,16 | 1,08 | 1,03 | 1,0 |
| 6 | 2,64 | 1,96 | 1,62 | 1,28 | 1,14 | 1,13 | 1,06 | 1,01 | 1,0 |
| 7 | 2,49 | 1,86 | 1,54 | 1,23 | 1,12 | 1,1 | 1,04 | 1,0 | 1,0 |
| 8 | 2,37 | 1,78 | 1,48 | 1,19 | 1,10 | 1,08 | 1,02 | 1,0 | 1,0 |
| 9 | 2,27 | 1,71 | 1,43 | 1,16 | 1,09 | 1,07 | 1,01 | 1,0 | 1,0 |
| 10 | 2,18 | 1,65 | 1,39 | 1J3 | 1,07 | 1,05 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 11 | 2,11 | 1,61 | 1,35 | 1,1 | 1,06 | 1,04 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 12 | 2,04 | 1,56 | 1,32 | 1,08 | 1,05 | 1,03 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 13 | 1,99 | 1,52 | 1,29 | 1,06 | 1,04 | 1,01 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 14 | 1,94 | 1,49 | 1,27 | 1,05 | 1,02 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 15 | 1,89 | 1,46 | 1,25 | 1,03 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 16 | 1,85 | 1,43 | 1,23 | 1,02 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 17 | 1,81 | 1,41 | 1,21 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 18 | 1,78 | 1,39 | 1,19 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 19 | 1,75 | 1,36 | 1,17 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 20 | 1,72 | 1,35 | 1,16 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 21 | 1,69 | 1,33 | 1,15 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 22 | 1,67 | 1,31 | 1,13 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 23 | 1,64 | 1,30 | 1,12 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1.0 | 1,0 |
| 24 | 1,62 | 1,28 | 1,11 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 25 | 1,60 | 1,27 | 1,10 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 30 | 1,51 | 1,21 | 1,05 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 35 | 1,44 | 1,16 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 40 | 1,40 | 1,13 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 45 | 1,35 | 1,10 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 50 | 1,30 | 1,07 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1.0 |
| 60 | 1,25 | 1,03 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1.0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 70 | 1,20 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 80 | 1,16 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 90 | 1,13 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| 100 | 1,10 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Mazāku patērētāju grupām neliela *ne* gadījumā slodzes grafika izlīdzināšanās ir nepilnīga un maksimuma koeficients var ievērojami pārsniegt 1 un *Pa* > *Pv*.

Jo mazāks ir izmantošanas koeficients *KI*, jo nevienmērīgāks ir individuālais slodzes grafiks, grupā iespējama mazāka savstarpēja slodzes izlīdzināšanās un līdz ar to augstāks maksimuma koeficients *KM*.

Atbilstoši elektroietaišu izbūves noteikumiem (EIN) spēka elektriskajos tīklos (cehos, rūpniecības uzņēmumu) zemsprieguma tīklu slodzi pielīdzina maksimālai slodzei (4.16)

Šo metodi visbiežāk izmanto projektēšanas sākuma stadijā. Izejoša informācija šajā gadījumā ir elektropatērētāju saraksts ar nominālam jaudām, mehānismu vai tehnoloģiskas iekārtas saraksts.

*Dažāda rakstura patērētājiem* ir dažāds izmantošanas koeficients *KI*, tad tos sadala pa grupām tā, lai katrā grupā patērētājiem *KI* ir vienāds. Katrai grupai jāatrod maksimālo (aplēses) *Pa* un *Qa*, bet pēc tam pilno jaudu *Sa* un strāvu *Ia*.

Pēc šī metodi maksimālo (aplēses) aktīvo slodzi elektropatērētāju grupai (*n* > 1) var noteikt sekojoši

 (4.17)

kur *KM* – maksimuma koeficients;

*KIi* – *i*-tā patērētāja izmantošanas koeficients;

*PNi* – *i*-tā patērētāja nomināla (uzstādīta) jauda.

Ja aplēses aktīva slodze *Pa* ir mazāka par vislielākā patērētāja nominālas slodzes grupā, tad jāpieņem *Pa = PN max*.

Izmantošanas koeficienta vērtības var atrast 4.3. tabulā sadales skapjiem, sadales paneļiem, kopnēm un trolejiem, bet 4.4. tabulā – maģistrālajiem kopnēm, ceha transformatoriem, ceham vai rūpniecības uzņēmumam.

4.4. tabula

**Maksimuma koeficienta *KM* vērtības maģistrālajiem kopnēm, ceha transformatoriem ar spriegumu līdz 1 kV**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***ne*** | **Maksimuma koeficienta *KM* atkarība no *KI*** | | | | | | | |
| **0,1** | **0,15** | **0,2** | **0,3** | **0,4** | **0,5** | **0,6** | **≥ 0,7** |
| 1 | 8,00 | 5,33 | 4,00 | 2,67 | 2,00 | 1,60 | 1,33 | 1,14 |
| 2 | 5,01 | 3,44 | 2,69 | 1,9 | 1,52 | 1,24 | 1,11 | 1,0 |
| 3 | 2,94 | 2,17 | 1,8 | 1,42 | 1,23 | 1,14 | 1,08 | 1,0 |
| 4 | 2,28 | 1,73 | 1,46 | 1,19 | 1,06 | 1,04 | 1,0 | 0,97 |
| 5 | 1,31 | 1,12 | 1,02 | 1,0 | 0,98 | 0,96 | 0,94 | 0,93 |
| 6-8 | 1,2 | 1,0 | 0,96 | 0,95 | 0,94 | 0,93 | 0,92 | 0,91 |
| 9-10 | 1,1 | 0,97 | 0,91 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| 11-25 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,9 | 0,9 |
| 26-50 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,85 |
| ≥ 50 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,7 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,8 |

Efektīvo strāvas patērētāju skaitu aprēķina pēc formulas

. (4.18)

Aprēķināto *ne* vērtību noapaļo līdz tuvākajam mazākam veselam skaitlim.

Ja patērētāju grupai vislielākā jauda *PN max* ne vairāk ka trīs reizes lielāka par minimālo jaudu *PNmin*, tad var pieņemt efektīvo patērētāju skaitu vienādu ar patērētāju skaitu grupā *ne* = =*n*.

Ja patērētāju skaits ir ļoti liels, tad efektīvo patērētāju skaitu var aprēķināt pēc vienkāršotas formulas

 (4.19)

Ja aprēķinos pēc formulas (4.27) izriet ka *ne > n*, tad jāpieņem *ne = n*.

Patērētāju grupas izmantošanas koeficientu var noteikt pēc izteiksmes

 (4.20)

Aplēses reaktīvo slodzi var noteikt divējādi:

1. Barošanas tīklam ar vadiem vai kabeļiem

 ja *ne* ≤ 10; (4.21 a)

 ja *ne* > 10. (4.21 b)

Reaktīvo slodzi aprēķina, izmantojot vidējo tg*φ* vērtību kuru nosaka no tabulas 4.2 un 4.3 atbilstoši jaudas koeficientam cos*φ* (no matemātikas kursā ir zināms, ka).

2. Uzņēmumam, ceham, maģistrālajiem kopnēm, uz transformatoru apakšstacijas kopnēm

 (4.22)

Kabeļu līnijām 6-10 kV *KM* = 1.

Ja aprēķina barojošās apakšstacijas zemsprieguma kopnes slodzi, jāievēro, ka atsevišķo patērētāju grupām slodžu maksimumi nesa­krīt. Tāpēc maksimālā summārā patērētāju slodze jāreizina ar vien­laicības koeficientu *K*0.Tatad uzņēmuma kopēja aktīva slodze (uz sadales un galvenās sadales kopnēm 6-10 kV)

 (4.23)

kur *m* – pievienojumu skaits uz apakšstacijas saliekamas kopnes 6-10 kV; *KIi* – *i*-tā pievienojuma izmantošanas koeficients; *K*0 – aprēķina slodzes vienlaicības koeficients; *PNi* – *i*-tā pievienojuma summāra nomināla jauda.

Vienlaicības koeficienta *K*0 vērtību var atrast 4.5. tabulā atkarība no *m* skaitļa un vidēji sverama izmantošanas koeficienta

 (4.24)

Uzņēmuma kopēja reaktīva slodze (uz sadales un galvenās sadales kopnēm 6-10 kV)

 (4.25)

kur tg*φi* –*i*-tā pievienojuma vidējais jaudas koeficients.

Pilnā aprēķina jauda

 (4.26)

Patērētāju grupas aprēķina strāvu

 (4.27)

Rezultējošo slodzi augstsprieguma pusē aprēķina izejot no jaudas zudumus transformatorā un reaktīvas jaudas kompensējošas iekārtas.

4.5. tabula

**Vienlaicības koeficienta *K*0 vērtības aplēses slodzes aprēķinam uz sadales un**

**galvenās sadales kopnēm 6-10 kV**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Vidēji sveramais**  **izmantošanas koeficients** | **Atzarojumu (pievienojumu) skaits *m*** | | | |
| 2—4 | 5—8 | 9—25 | > 25 |
| *KI* <0,3 | 0,9 | 0,8 | 0,15 | 0,7 |
| 0,3 < *KI* <0,5 | 0,95 | 0,9 | 0,85 | 0,8 |
| 0,5 < *KI* <0,8 | 1,0 | 0,95 | 0,9 | 0,85 |
| *KI* > 0,8 | 1,0 | 1,0 | 0,95 | 0,9 |

Ja patērētāju grupā, kurai aprēķina slodzi, jaudu attiecība

 (4.28)

un patērētāju skaits ir 4 un vairāk, tad var pieņemt, ka

*ne = n*,

kur *n* - patērētāju skaits grupā.

Ja *m* > 3, bet *KI* ≥ 0,2, efektīvo patērētāju skaitu var ap­rēķināt pēc formulas

 (4.29)

kur *PNmaks* - lielākā patērētāja nominālā jauda,

Aprēķinot *ne*, jāatceras, ka *ne* ≤ *n*. Ja pēc aprēķina *ne* > *n*, tad jāpieņem

*ne = n*.

*Vienāda rakstura patērētajiem* slodžu grafiki atšķiras maz, jo sakrīt patērētāju tehnoloģiskie procesi, tātad sakrīt arī izmantošanas koeficienti. Šajā gadījumā vidēja jauda

*PV = KI *,

tad maksimālu jaudu var aprēķināt sekojoši:

*PM = KM∙KI∙*. (4.30)

**4. Pieprasījuma koeficienta metode.** Orientējoši aplēses aktīvo slodzi patērētāju grupai spēka elektriskajos tīklos projektēšanas sākuma stadijā var noteikt arī šādi:

 (4.31)

kur *KP* - pieprasījuma koeficients, kuru nosaka pēc formulas

*KP = KM∙KI*. (4.32)

Reaktīva slodze patērētāju grupai

*Qa = Pa*·tg*φ*, (4.33)

kur tg*φ* – jaudas koeficienta vidēja vērtība patērētāju grupai.

Pieprasījuma koeficienta vērtības doti tehniskajos rokasgrāmatas. Dažiem patērētājiem viņus var aprēķināt pēc formulas (4.32), izmantojot dati no 4.2. tabulas.

Aprēķinos šajā gadījumā tika pieņemts, ka *Kp* ir vienāds visiem patērētājiem, t.i., patērētāji ir viena tipa un viņiem visiem ir vienāds darba režīms. Tādām prasībām vislabāk atbilst apgaismes elektroiekārtas. Tāpēc šo metodi plaši pielieto apgaismes elektrotīkla aprēķiniem. Spēka patērētājiem patēriņa raksturlielumi var būt ļoti atšķirīgi un šo metodi pielieto tikai orientējošiem aprēķiniem.

Atsevišķam dzinējam pieprasījuma koeficientu aprēķins pēc formulēs

 (4.34)

kur *K*0 - vienlaicības koeficients;

*KI* - izmantošanas koeficients;

*ηt* - tīkla lietderības koeficients;

*ηd* - dzinēja lietderības koeficients.

Elektrodzinējiem, kas strādā ilgstošā režīmā, par uzstādīto jaudu *PU* sauc kataloga jeb pases nominālo jaudu *PN*, kuru tas attīsta uz savas vārpstas:

*PU* = *PN*.

Ja elektrodzinējs strādā atkārtoti īslaicīgā režīmā, uzstādīto jaudu aprēķina šādi:

 (4.35)

kur *εN*, % - nominālais ieslēgšanas ilgums (%), izvēlas no kataloga;

*PN* – elektrodzinēja nomināla jauda.

Metināšanas transformatoriem uzstādīto jaudu aprēķina pēc formulas

 (4.36)

kur *SN* – transformatora nominālā jauda, kVA.

Ja patērētāju skaits ir liels un to darba režīmi ir atšķirīgi, patērētāji jāsadala grupās ar vienādu daba režīmu un katrai grupai jānosaka maksimālā slodze. Summāro maksimālo aktīvo slodzi nosaka, saskaitot atsevišķo grupu maksimālās aktīvās slodzes. Tāpat atrod arī maksimālo reaktīvo slodzi un aprēķina

 (4.37)

zinot tg*φvid*, no tabulām var atrast *cosφvid*.

20 kV sprieguma līnijas posmos aprēķina slodzi nosaka, summē­jot 20/0,4 kV apakšstaciju slodzes un reizinot ar vienlaicības koeficientu *K*0, kurš atkarīgs no apakšstaciju skaita (4.6. tab.).

4.6. tabula

**Vienlaicības koeficients *K*0atkarībā no apakšstaciju skaita**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Apakšstaciju skaits** | **2** | **3** | **4...6** | **7... 15** | **16...25** | **26 un vai­rāk** |
| ***K*0** | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 |

**Slodzes aprēķins pēc īpatnēja elektroenerģijas patēriņa uz vienas produkcijas daudzuma vienības ražošanai** var izdarīt, izmantojot formulas

 (4.38)

kur *wīp.* – īpatnējais elektroenerģijas patēriņš, kW·h/pr.vien.;

*Nt* – saražotais produkcijas daudzums noteikta laika *t* (kg, m3, m2, gab. un tml.).

Metodi var izmantot patērētāju grupām ar laikā nemainīgu slodzi. Daļa elektrouzņēmēju, piemēram, ventilatori, kompresori, sūkņi, elektroenerģijas pārveidotāji, liela daļa papīrrūpniecības un ķīmiskās rūpniecības agregātu neregulējamas pretestības krāsnis, strādā ar praktiski nemainīgu slodzi.

Šo paņēmienu var lietot kā palīgmetodi cehu un rūpnīcu aplēses slodžu noteikšanai arī mainīgas slodzes gadījumā ja zināms saražotas produkcijas daudzums gadā.

**5. Īpatnējās slodzes metode** tiek lietota, lai noteiktu aplēses slodzes tādos tīklos, kuriem pieslēgts liels skaits aptuveni vienādas jaudas patērētāju, piemēram, mehāniskajā cehā ar metālgriešanas mašīnām. Pārejot uz jaunu produkcijas veidu, šāda tipa patērētājiem raksturīga bieža darbmašīnu nomaiņa. Tāpēc to barošanai paredz universālu tīklu. Īpatnējās jaudas metodi lieto arī aplēses slodzes aprēķinam apgaismes tīklos.

Aplēses aktīvo un reaktīvo slodzi aprēķina pēc formulām:

 (4.39)

kur σ – slodzes blīvums, F – patērētāju aizņemtais laukums, piemēram, ceha laukums, lauksaimnieciski izmantojamā zeme.

**6. Maksimālā strāva** patērētāju grupai ar spriegumu līdz 1 kV

*Im = Ip max* + (*Ia - KI·IN max*), (4.40)

kur *Ip max* - vislielākā palaišanas strāva starp dzinējiem;

*Ia* – vislielākā aplēses (aprēķina) stāva līnijā ar pārējiem elektropatērētājiem (30 min laikā);

*KI* – izmantošanas koeficients mehānismam, kas izmanto dzinēju ar vislielāko palaišanas strāvu;

*IN max* – nomināla darba strāva dzinējam ar vislielāko palaišanas strāvu (reducēts uz ε = =100 %).

**7. Lauksaimniecības objektiem** spēka aprēķina slodzi *Sa* nosaka tāpat kā apgaismojumam:

 (4.41)

kur *Smax.n* — maksimālā vakara slodze *SV* vai dienas slodze *Sd* *n*-tā patērētāja ievadā, līnijas posmā vai uz transformatoru apakšstacijas kopnēm;

*K*0— vienlaicības koeficients, kas atkarīgs no patērētāju skaita (4.9. tab.).

Maksimālo dienas slodzi *Sd* vai vakara slodzi *SV* aprēķina pēc formulām

*Sd = SmaxKd*, *SV = SmaxKV*, (4.42)

kur *Kd* un *KV* — koeficienti, kas parāda, kāda daļa no maksimālās slodzes ir dienas vai vakara maksimums.

4.7. tabulā sakopoti koeficienti *Kd* un *KV* dažāda rakstura patē­rētājiem. Jaudas koeficientu nosaka atkarībā no dienas vai vakara aprēķina slodžu attiecības (4.8. tab.).

Jaudas koeficientu vairākiem patērētājiem nosaka ka vidējo jau­das koeficientu:

 (4.43)

Elektroenerģijas patēriņu gada laikā aprēķina pēc formulas

*W = Pmax∙tmax*. (4.44)

Maksimuma izmantošanas laiks *tmax* dots 4.10. tabulā.

Bez minētajām metodēm ir vēl rinda citu slodžu noteikšanas metožu.

4.7. tabula

**Dienas un vakara maksimuma koeficienti**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Objekta nosaukums** | ***Kd*** | ***KV*** |
| Dzīvojamās mājas ar apgaismojuma un mājturības slodzi | 0,3 | 1,0 |
| Ēdnīcas ar elektriskajām plītīm un bez tām | 1,0 | 0,4 |
| Pārtikas veikali ar ledusskapjiem | 0,6 | 1,0 |
| Rūpniecības preču veikali | 0,6 | 1,0 |
| Slimnīcas ar elektrificētu virtuvi | 1,0 | 0,6 |
| Slimnīcas ar neelektrificētu virtuvi | 1,0 | 0,7 |
| Vienas maiņas skolas | 1,0 | 0,3 |
| Divu maiņu skolas | 0,6 | 1,0 |
| Bērnudārzi ar elektrificētu virtuvi | 1,0 | 0,5…0,9 |
| Bērnudārzi ar neelektrificētu virtuvi | 1,0 | 0,9…1,0 |
| Klubi | 0,3 | 1,0 |
| Sadzīves pakalpojumu kombināti | 1,0 | 0,3 |
| Kopmītnes | 0,5 | 1,0 |
| Vidusskolas, tehnikumi, augstskolas | 1,0 | 0,85 |
| Kantori | 0,9 | 0,05 |
| Mehāniskās darbnīcas, palīguzņēmumi | 1,0 | 1,0 |
| Pienotavas, kas strādā vienā maiņā  divās maiņās | 1,0  0,9 | 0,5  1,0 |
| Dzirnavas, kas strādā vienā maiņā  divās vai trīs maiņās | 1,0  0,9 | 0,1  1,0 |
| Automatizēti objekti (noliktavas ar aktīvo ventilāciju, saldēša­nas ierīces, ūdens sūkņi, inkubatori) | 1,0 | 1,0 |
| Labības pieņemšanas punkti, graudu kaltes, kas strādā  vienā maiņā  divās vai trīs maiņās | 1,0  0,9 | 0,85  1,0 |
| Slaucamo govju fermas | 1,0 | 0,85 |
| Liellopu nobarošanas fermas | 1,0 | 1,0 |
| Cūku fermas | 1,0 | 0,6 |
| Gateri, kas strādā vienā maiņā  divās maiņās | 1,0  0,9 | 0  1,0 |
| Teļu fermas | 1,0 | 1,0 |
| Barības sagatavošanas cehi | 1,0 | 0,7 |
| Putnu fermas: jauno putnu sektors  dējējvistu sektors | 1,0  1,0 | 1,0  0,7 |
| Graudu klētis | 0,8 | 0,6 |

4.8. tabula

**Jaudas koeficients cos*φ***

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **0,25…0,35** | **0,36…0,6** | **0,61…0,85** | **0,85…1,15** | **1,16…1,4** | **1,41 un vairāk** |
| **Jaudas**  **koeficients** | **vakara** | 0,97 | 0,95 | 0,93 | 0,89 | 0,84 | 0,8 |
| **dienas** | 0,94 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,78 | 0,75 |

4.9. tabula

**Vienlaicības koeficients *K*0 atkarībā no patērētāju skaita**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Patērētāju skaits** | **2** | **3** | **4...5** | **6...7** | **8...10** | **11...15** | **16...20** | **21...40** | **71... 150** | **≥ 151** |
| ***K*0** | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 | 0,6 | 0,55 | 0,5 | 0,4 | 0,35 |

**4.9. SLODZES APRĒĶINA PIEMĒRI SPĒKA ELEKTRISKAJOS TĪKLOS.**

**4.2. piemērs**. Noteikt aprēķina slodzes virpošanas darbgaldam ar trim asinhronajiem dzinējiem ar jaudām 11, 11,1 un 0,12 kW. Tīkla nominālais spriegums 380 V.

Atrisinājums. Pēc 4.2. tab. varam pieņemt *KI* = 0,14, cos*φ* = 0,5 (tg*φ* = 1,73). Darbgalda elektropatērētāju uzstādīta jauda

4.10. tabula

**Maksimuma izmantošanas laika *tmax* un zuduma laika *τ* atkarība no maksimālās**

**aprēķinu slodzes**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Maksimālā aprēķina slodze (kVA)** | **Komunālā slodze** | | **Ražošanas slodze** | | **Jaukta slodze** | |
| ***tmax*, h** | ***τ*, h** | ***tmax*, h** | **τ, h** | ***tmax*, h** | ***τ*, h** |
| Līdz 10  10...20  20...50  50...100  100...500  Virs 500 | 1100  1300  1600  1800  2000  2100 | 400  600  700  900  1000  1100 | 1100  1300  1700  2000  2200  2300 | 400  600  800  1000  1150  1200 | 1300  1500  2000  2400  2800  3000 | 600  650  1000  1350  1600  1700 |

*PN = P*N1 + *P*N2 + *P*N3 = 11 + 1,1 + 0,12 = 12,22 kW

Efektīvo elektropatērētāju skaitu aprēķina pēc formulas (4.18):



Noapaļojam *ne* līdz tuvakajam skaitlim, t.i. *ne* = 1. No 4.3. tab. ja *ne* = 1 un *KI* = 0,14 var atrast *KM*. Šajā gadījumā varam izmantot interpolācijas metode. Atbilstoši dotajam metodem, argumentam *x*, kas atrodas starp vērtībam *x*1 un *x*2, kam atbilst lielumi *y*1 un *y*2, funkcijas *y* vērtību var aprēķināt pēc izteiksmes



Mūsu gadījumā *y = KM*, bet *x = KI*. Tātad, *y*1 = 8, *y*2 = 5,33; *x*1 = 0,1; *x*2 = 0,15; *x= KI* = 0,14



Darbgalda aprēķina aktīva slodze

*PM = KM∙KI∙*= 5,86·0,14·12,22 = 10,0 kW.

Tā ka aprēķina aktīva slodze mazāka par nominālo slodzi viena no dzinējiem (*Pa* < *PN*1 = 10 kW < 11 kW), tad varam pieņemt *Pa* = 11 kW.

Aprēķina aktīva slodze, ja *ne* ≤ 10

*Qa =* 1,1*·KI·Pa∙tg φ* = 1,1·0,14·12,22·1,73 = 3,3 kVAr.

Pilna aprēķina slodze



Aprēķina strāva nozarojumam līdz darbgaldam



|  |  |
| --- | --- |
| **4.3. piemērs.** Dotajā shēma (4.8. att.) noteikt aplēses strāvu posmā *ab*. Dzinēju dotie lielumi atrodas 4.11. tabulā. Aprēķinos izmantot pieprasījuma koeficienta metode. | 4.8. att. Shēma 4.3. piemēram |

4.11. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Nr.  p.k | Dzinēju nomināla jauda  *PN,* kW | Jaudas koeficients cos*φ* | Izmantošanas koeficients *KI* | Lietderības koeficients *η* |
| 1. | 2,8 | 0,82 | 0,75 | 0,84 |
| 2. | 4,5 | 0,83 | 0,92 | 0,85 |
| 3. | 10 | 0,85 | 0,80 | 0,86 |

*Atrisinājums.*

Dzinēju skaits ir 3 un var pieņemt *K*0 = 0,8 (4.9. tab.). Tīkla garums nav liels un tīkla lietderības koeficients *ηt* ≈ 1. Tad atsevišķam dzinējam pieprasījuma koeficientu aprēķina pēc formulās (4.34):



Aplēses aktīvā jauda

*P*1 = *KP*1∙*PN*1 = 0,714∙2,8 = 2,0 kW; *P*2 = *KP*2∙*PN*2 = 0,866∙4,5 = 3,9 kW;

*P*3 = *KP*3∙*PN*3 = 0,745∙10 = 7,45 kW.

Aplēses pilnā jauda



kVA.

Pēc tabulām vai ar kalkulatoru nosaka atbilstošās sin*φ* vērtības uzrādītajiem cos*φ*:







Aplēses reaktīvā jauda

*Q*1 = *S*1∙sin*φ*1 = 2,44∙0,572 = 1,4 kVAr; *Q*2 = *S*2∙sin*φ*2 = 4,7∙0,558 = 2,62 kVAr;

*Q*3 = *S*3∙sin*φ*3 = 8,77∙0,527 = 4,62 kVAr.

Aplēses kopēja slodzes jauda



Aplēses strāva 

Tā kā aprēķina gaitā izmantojam cos*φ*, kas atbilst nominālai jaudai, bet reāla jauda ir mazāka tad tādu aprēķinu var izmantot tikai ja *KI* nav mazāks par 0,7.

**4.4. piemērs.** Dotajā shēma (4.9. att.) noteikt aprēķina (aplēses) strāvu posmā 0A un AB pēc pieprasījuma koeficienta metode. Dzinēju dotie lielumi atrodas 4.12. tabulā.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

4.9. att. Shēma 4.4. piemēram: *a* – principiāla elektriskā shēma; *b* – vienlīnijas shēma

*Atrisinājums.*

Tīkla garums nav liels un tīkla lietderības koeficients *ηt* ≈ 1.

Posms 0A.

Atsevišķam dzinējam pieprasījuma koeficientu aprēķina pēc formulās (4.34), ja *K*0 = 0,75 (4.9. tab.):







4.12. tabula

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Nr.  p.k | Dzinēju nomināla jauda  *PN,* kW | Jaudas koeficients cos*φ* | Izmantošanas koeficients *KI* | Lietderības  koeficients *η* |
| 1. | 10 | 0,87 | 0,60 | 0,87 |
| 2. | 12 | 0,87 | 0,50 | 0,88 |
| 3. | 5,8 | 0,85 | 0,75 | 0,855 |
| 4. | 2,7 | 0,83 | 0,79 | 0,82 |
| 5. | 4 | 0,84 | 0,80 | 0,84 |

Aplēses aktīvā jauda

*P*1 = *KP*1∙*PN*1 = 0,52∙10 = 5,2 kW; *P*2 = *KP*2∙*PN*2 = 0,43∙12 = 5,16 kW;

*P*3 = *KP*3∙*PN*3 = 0,66∙5,8 = 3,83 kW; *P*4 = *KP4*∙*PN4* = 0,71∙2,7 = 1,92 kW;

*P*5 = *KP5*∙*PN5* = 0,71∙4 = 2,84 kW;

Aplēses pilnā jauda







Pēc tabulām vai ar kalkulatoru nosaka atbilstošās sin*φ* vērtības uzrādītajiem cos*φ*:



Aplēses reaktīvā jauda

*Q*1 = *S*1∙sin*φ*1 = 5,98∙0,49 = 2,93 kVAr; *Q*2 = *S*2∙sin*φ*2 = 5,93∙0,49 = 2,91 kVAr;

*Q*3 = *S*3∙sin*φ*3 = 4,51∙0,53 = 2,39 kVAr; *Q*4 = *S*4∙sin*φ*4 = 2,31∙0,56 = 1,29 kVAr;

*Q*5 = *S*5∙sin*φ*5 = 3,38∙0,54 = 1,83 kVAr.

Aprēķina kopējo slodzes jaudu



Aplēses strāva



Tā kā aprēķina gaitā izmantojam cos*φ*, kas atbilst nominālai jaudai, bet reāla jauda ir mazāka tad tādu aprēķinu var izmantot tikai ja *KI* nav mazāks par 0,7.

AB posms

Atsevišķam dzinējam pieprasījuma koeficientu aprēķina pēc formulās (4.34), ja *K*0 = 0,85 (4.9. tab.):



Aplēses aktīvā jauda

*P*4 = *KP4*∙*PN4* = 0,81∙2,7 = 2,19 kW; *P*5 = *KP5*∙*PN5* = 0,81∙4 = 3,24 kW.

Aplēses pilnā jauda



Pēc tabulām vai ar kalkulatoru nosaka atbilstošās sin*φ* vērtības uzrādītajiem cos*φ*:

Aprēķina reaktīvā jauda

*Q*4 = *S*4∙sin*φ*4 = 2,64∙0,56 = 1,48 kVAr; *Q*5 = *S*5∙sin*φ*5 = 3,86∙0,54 = 2,08 kVAr

Aplēses kopējo slodzes jaudu



Aplēses strāva



**4.5. piemērs.** Noteikt aprēķina slodzes pēc maksimuma koeficienta metode (sakārtoto diagrammu metode) patērētāju grupai ar ilgstošo darba režīmu pēc šādiem datiem:

10 patērētāji ar jaudu *PN*1 = 7,5 kW; *KI*1 = 0,35; cos*φ*1 = 0,56; tg*φ*1 = 1,17;

4 patērētāji ar jaudu *PN*2 = 15 kW; *KI*2 = 0,2; cos*φ*2 = 0,6; tg*φ*2 = 1,33;

5 patērētāji ar jaudu *PN*3 = 22 kW; *KI*3 = 0,17; cos*φ*3 = 0,5; tg*φ*3 = 1,73;

Tīkla nominālais spriegums 380 V.

Atrisinājums. Patērētāju grupas uzstādīta jauda

 = 10·7,5+4·15 + 5·22 = 75 + 60 + 110 = 245 kW.

Pēc izteiksmes (4.20) aprēķinam patērētāju grupas izmantošanas koeficients



Pēc formulas (4.18) aprēķinam efektīvo patērētāju skaitu



Pieņemam *ne* = 15.

Pēc 4.3. tabulas (*KI* =0,22; *ne* =15) ar interpolācijas metodi palīdzību atrodam *KM* =1,21.

Grupu patērētāju aprēķina aktīva slodze (4.17)

**= 1,21·53,7 = 65,0 kW.

Grupu patērētāju aprēķina reaktīva slodze (4.21 *b*), ja n > 10

**= 26,3·1,17 + 12·1,33 + 15,4·1,73 = 73,4 kVAr.  
Pilnā aprēķina slodze

**

Aplēses strāva



**4.6. piemērs.** Ceha plāns ar tehnoloģiskās iekārtas izvietojumu (skat. 4.10. att.).

Aprēķina uzdevums: aprēķināt ceha slodzes jaudu un slodzes strāvu ar maksimuma koeficientu metode. Tehnoloģiskās iekārtas dotie lielumi atrodas 4.13. tabulā.

Aprēķina noteikumi.

1. Aprēķins jāizdara pēc izmantošanas un maksimuma koeficientu metodes.

2. Ja *m* < 3 un *n* ≥ 4, tad *ne = n*.

3. Ja grupā ar vienādu *KI* visiem patērētājiem *PN* = const, *ne* = *n*.

4. Ja grupā ir viens patērētājs, *P = PN*.

Aprēķins.

l. Sagrupē patērētājus grupas ar vienādiem *KI* un cos *φ* (4.2. tabula):

1. grupa - patērētāji Nr. 1...6, *KI*1 = 0,14; cos *φ*1 = 0,5.

2. grupa – patērētāji Nr. 7...11; *KI*2 = 0,2; cos *φ*2 =0,6.

3. grupa - patērētāji Nr. 12...l4; *KI*3 = 0,24, cos *φ*3 = 0,65.

4. grupa – patērētāji Nr. 15; *KI*4 = 0,6; cos *φ*4 = 0,8.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 4.10. att. Shēma 4.6. piemēram |

4.13. tabula

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nr. ceha plānā** | **Tehnoloģiskās iekārtas nosaukums** | **Jauda, kW** |
| 1. | Metālapstrādes darbgalds | 2,8 |
| 2. | Metālapstrādes darbgalds | 4,5 |
| 3. | Metālapstrādes darbgalds | 10 |
| 4. | Metālapstrādes darbgalds | 10 |
| 5. | Metālapstrādes darbgalds | 14 |
| 6. | Metālapstrādes darbgalds | 7 |
| 7. | Punktmetināšanas iekārta | 8 |
| 8. | Punktmetināšanas iekārta | 8 |
| 9. | Punktmetināšanas iekārta | 12 |
| 10. | Punktmetināšanas iekārta | 12 |
| 11. | Punktmetināšanas iekārta | 12 |
| 12. | Prese | 7 |
| 13. | Prese | 7 |
| 14. | Prese | 7 |
| 15. | Ventilators | 4,5 |

2. Aprēķina jaudu attiecību katrai grupai:

3. Atrod efektīvo strāvas patērētāju skaitu katrai grupai:



*ne*2 = *n* = 5, atbilstoši 2. aprēķina noteikumam (ja *m* < 3 un *n* ≥ 4, tad *ne = n*).

*ne*3 = *n* = 3, atbilstoši 3. aprēķina noteikumam (ja grupā ar vienādu *KI* visiem patērētājiem *PN* = const, *ne* = *n*).

*ne*4 = *n* = 1, atbilstoši 3. aprēķina noteikumam (ja grupā ar vienādu *KI* visiem patērētājiem *PN* = const, *ne* = *n*).

4. No 4.3. tabulas atrod maksimuma koeficientus pa grupām:

*KM*1 = 2,24; *KM*2 = 1,72; *KM*3 = 2,08.

5. Aprēķina maksimālo aktīvo jaudu pa grupām:







*P*4 = *PN*4 = 4,5 kW, atbilstoši 4. aprēķina noteikumam (ja grupā ir viens patērētājs, *P* = =*PN*).

6. Pēc tabulām vai ar kalkulatoru nosaka atbilstošās tg*φ* vērtības uzradītajiem cos*φ* (4. grupas patērētājam pieņem dzinēja nominālais jaudas koeficients cos*φ* = 0,86):

*tgφ*1 = 1,73; *tgφ*2 = 1,33; *tgφ*3 = 1,17; *tgφ*4 = 0,59.

7. Nosaka reaktīvo slodzi pa grupām:

*Q*1 = *P*1 *tgφ*1 = 15,15∙1,73 = 26,21 kVAr,

*Q*2 = 23,79 kVAr; *Q*3 = 12,26 kVAr; *Q*4 = 2,66 kVAr.

8. Aprēķina ceha kopējo slodzes jaudu:

S1 = 15,15 kW - *j* 26,21 kVAr,

S2 = 17,89 kW - *j* 23,79 kVAr

S3 = 10,48 kW - *j* 12,26 kVAr,

S4 = 4,50 kW - *j* 2,66 kVAr,

SΣ = 48,02 kW - *j* 64,92 kVAr



9. Aprēķina strāvu ceha barojošā tīklā



Aprēķina rezultātus sakopo 4.14. tabulā.

4.14. tabula

**Aprēķinu rezultātu tabula**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nr.  p.k. | Grupu patērētāju  nosaukums | Grupu patērētāju  skaits | Minimāla jauda  *Pmin*, kW | Maksimāla  jauda *Pmax*, kW | Jaudu attiecība  *m* | Izmantošanas  koeficients  *KI* | Efektīvo  patērētāju  skaits  *ne* | Maksimuma  koeficients  *KM* | cos*φ*  tg*φ* | Maksimāla  aktīvā  jauda  *P*, kW | Maksimāla  reaktīvā jauda *Q*, kVAr | Pilnā  jauda  *S*,  kVA | Strāva  *I*, A |
| 1. | Metālapstrādes darbgalds | 6 | 2,8 | 14 | 5 | 0,14 | 5 | 2,24 | 0,5  1,73 | 15,15 | 26,21 |  |  |
| 2. | Punktmetināšas iekārta | 5 | 8 | 12 | 1,5 | 0,2 | 5 | 1,72 | 0,6  1,33 | 17,89 | 23,79 |  |  |
| 3. | Prese | 3 | 7 | 7 | 1 | 0,24 | 3 | 2,08 | 0,65  1,17 | 10,48 | 12,26 |  |  |
| 4. | Ventilators | 1 | 4,5 | 4,5 | 1 | 0,6 | 1 | 1 | 0,8  0,59 | 4,5 | 2,66 |  |  |
| KOPĀ: | | | | | | | | |  | 48 | 64,9 | 80,75 | 122,8 |

*Secinājums*: aprēķina jaudas un aprēķina strāvu var izmantot, izvēloties vada vai kabeļa šķērsgriezumu un tīkla aizsardzī­bas elementus.

**4.7. piemērs**. Aprēķina uzdevums: aprēķināt ceha slodzes jaudu un slodzes strāvu.

Aprēķina noteikumi.

1. Aprēķins jāizdara pēc izmantošanas un maksimuma koeficientu metodes.

2. Ja *m* < 3 un *n* ≥ 4, tad *ne = n*.

3. Ja grupā ar vienādu *KI* visiem patērētājiem *PN* = const, *ne* = *n*.

4. Ja grupā ir viens patērētājs, *P = PN*.

Dotie lielumi (sk. 4.15. tabulā).

Atrisinājums.

1. Sagrupē patērētājus grupās ar vienādiem *KI* un cos*φ* :

1. grupa. - Metālgriešanas darbmašīnas – *KI*1 = 0,14; cos*φ*1 = 0,5.

2. grupa. - Štancēšanas spiednēs – *KI*2 = 0,17; cos*φ*2 = 0,65.

3. grupa. - Ventilatori – *KI*3 = 0,65; cos*φ*3 = 0,8.

4. grupa. - Sildīšanas iekārtas – *KI*4 = 0,8; cos*φ*4 = 0,95.

5. grupa. - Celtnis ar *ε* = 25% – *KI*5 = 0,1; cos*φ*5 = 0,5.

Celtņu jauda attiecināta pret *ε* = 100 %:

 kW; kW.

2. Aprēķina jaudu attiecību katrai grupai:



3. Atrod efektīvo strāvas patērētāju skaitu katrai grupai:

*ne*1 = *n* = 15, atbilstoši 2. aprēķina noteikumam (ja *m* < 3 un *n* ≥ 4, tad *ne = n*).

*ne*2 = *n* = 8, atbilstoši 2. aprēķina noteikumam (ja *m* < 3 un *n* ≥ 4, tad *ne = n*).

*ne*3 = *n* = 10, atbilstoši 2. aprēķina noteikumam (ja *m* < 3 un *n* ≥ 4, tad *ne = n*).

4.15. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nr.  p.k. | Elektropatērētāju nosaukums | Elektropatērētāju  skaits | Elektropatērētāju  jauda  *P*, kW | Izmantošanas koeficients *KI* | Jaudas  koeficients cos*φ* |
| 1. | Metālgriešanas darbmašīnas neliela sērijveida ražošanā | 8 | 11,7 | 0,12-0,14 | 0,4-0,5 |
| 2. | Metālgriešanas darbmašīnas neliela sērijveida ražošanā | 4 | 7,6 | 0,12-0,14 | 0,4-0,5 |
| 3. | Metālgriešanas darbmašīnas neliela sērijveida ražošanā | 3 | 5,2 | 0,12-0,14 | 0,4-0,5 |
| 4. | Štancēšanas spiednēs | 6 | 7 | 0,17 | 0,65 |
| 5. | Štancēšanas spiednēs | 2 | 14 | 0,17 | 0,65 |
| 6. | Ventilatori | 6 | 1,7 | 0,6-0,65 | 0,8 |
| 7. | Ventilatori | 4 | 0,7 | 0,6-0,65 | 0,8 |
| 8. | Sildīšanas iekārtas | 6 | 5 | 0,75-0,8 | 0,95 |
| 9. | Celtnis ar ε =25% | 4 | 17,6 | 0,1 | 0,5 |
| 10. | Celtnis ar ε =25% | 2 | 2,4 | 0,1 | 0,5 |

*ne*4 = *n* = 5, atbilstoši 3. aprēķina noteikumam (ja grupā ar vienādu *KI* visiem patērētājiem *PN* = const, *ne* = *n*).



4. No 4.3. tabulas atrod maksimuma koeficientus pa grupām:

*KM*1 = 1,55; *KM*2 = 1,66; *KM*3 = 1,0; *KM*4 = 1,0; *KM*5 = 2,64;

5. Aprēķina maksimālo aktīvo jaudu pa grupām











6. Pēc tabulām vai ar kalkulatoru nosaka atbilstošās tg*φ* vērtības uzradītajiem cos*φ*.

tg*φ*1 = 1,73; tg*φ*2 = 1,17; tg*φ*3 = 0,75; tg*φ*4 = 0,33; tg*φ*5 = 1,73;

7. Nosaka reaktīvo slodzi pa grupām:

*Q*1 = *P*1 *tgφ*1 = 30,29∙1,73 = 52,4 kVAr; *Q*2 = *P*2 *tgφ*2 = 19,75∙1,17 = 23,11 kVAr;

*Q*3 = *P*3 *tgφ*3 = 8,45∙0,75 = 6,34 kVAr; *Q*4 = *P*4 *tgφ*4 = 24∙0,33 = 7,92 kVAr;

*Q*5 = *P*5 *tgφ*5 = 9,93∙1,73 = 17,18 kVAr.

8. Aprēķina ceha kopējo slodzes jaudu:

S1 = 30,29 kW + j 52,40 kVAr,

S2 = 19,75 kW + j 23,11 kVAr

S3 = 8,45 kW + j 6,34 kVAr,

S4 = 24,00 kW + j 7,92 kVAr,

S5 = 9,93 kW + j 17,18 kVAr,

SΣ = 92,42 kW + j 106,95 kVAr



9. Aprēķina strāvu ceha barojošā tīklā 

Aprēķina rezultātus sakopo 4.16. tabulā.

**4.8. piemērs.** Noteikt uzņēmuma aplēses slodzes uz sadales punkta kopnēm 10 kV ar sešiem pievienojumiem. Uzstādītas jaudas *PN* = 5600; 6700; 8000; 7600; 6300; 8500 kW. Izmantošanas koeficienta vidējas vērtības *KI* = 0,4; 0,2; 0,3; 0,14; 0,25; 0,35, jaudas koeficienta vērtības tg*φ* = 0,42; 0,48; 0,5; 0,55; 0,46; 0,47.

Atrisinājums.

Aprēķinam vidēji sverama izmantošanas koeficienta vērtību uzņēmumam

4.16. tabula

**4.7. piemēra aprēķina rezultātu tabula**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nr.**  **p.k.** | **Grupu patērētāju**  **nosaukums** | **Grupu patērētāju**  **skaits** | **Minimāla jauda**  ***Pmin*, kW** | **Maksimāla**  **jauda *Pmax*, kW** | **Jaudu attiecība**  ***M*** | **Izmantošanas**  **koeficients**  ***KI*** | **Efektīvo**  **patērētāju**  **skaits**  ***ne*** | **Maksimuma**  **koeficients**  ***KM*** | **cos*φ***  **tg*φ*** | **Maksimāla**  **aktīvā**  **jauda**  ***P*, kW** | **Maksimāla**  **reaktīvā jauda *Q*, kVAr** | **Pilnā**  **jauda**  ***S*,**  **kVA** | **Strāva**  ***I*, A** |
| 1. | Metālgriešanas darbmašīnas | 15 | 5,2 | 11,7 | 2,2 | 0,14 | 15 | 1,55 | 0,5  1,73 | 30,29 | 52,4 |  |  |
| 2. | Štancēšanas spiednēs | 8 | 7 | 14 | 2 | 0,17 | 8 | 1,66 | 0,65  1,17 | 19,75 | 23,11 |  |  |
| 3. | Ventilatori | 10 | 0,7 | 1,7 | 2,4 | 0,65 | 10 | 1,0 | 0,8  0,75 | 8,45 | 6,34 |  |  |
| 4. | Sildīšanas iekārtas | 6 | 5 | 5 | 1 | 0,8 | 6 | 1,0 | 0,95  0,33 | 24 | 7,92 |  |  |
| 5. | Celtnis ar ε = 25 % | 6 | 1,2 | 8,8 | 7,3 | 0,1 | 5 | 2,64 | 0,5  1,73 | 9,93 | 17,18 |  |  |
| KOPĀ: | | | | | | | | |  | 92,42 | 106,95 | 141,4 | 215 |



No 4.5. tabulas atbilstoši *KI* = 0,27 un *m* = 6 varam noteikt vienlaicības koeficientu *K*0 = =0,8.

Aplēses aktīva slodze uz sadales punkta kopnēm 10 kV pēc izteiksmes (4.23)



Aplēses reaktīva slodze uz sadales punkta kopnēm 10 kV pēc izteiksmes (4.25)

Pilnā jauda uz sadales punkta kopnēm



**4.9. piemērs.** Pēc pieprasījuma koeficienta metode noteikt aprēķina jaudas remont - mehāniskajam ceham ar uzstādīto jaudu *PN* = 1600 kW.

Atrisinājums. Pēc 4.2. tabulas datiem remont-mehāniskajam ceham pieprasījuma koeficients *Kp* = 0,3; cos*φ* = 0,75 (tg*φ* = 0,88).

Aplēses aktīva slodze

*Pa = Kp·PN* = 0,3·1600 = 480 kW.

Aplēses aktīva slodze

*Qa = Pa·*tg*φ* = 480·0,88 = 422,4 kVAr.

Pilnā aplēses jauda



**4.10. piemērs.** Noteikt aplēses aktīvo slodzi kompresoru grupai ar ražīgumu 280 000 m3 saspiesta gaisa vienā maiņā. Maiņas ilgums 8 stundas, īpatnējais elektroenerģijas patēriņš *wīp*= = 0,1 kW·h/m3.

Atrisinājums. Aplēses aktīva slodze pēc formulas (4.38)



**4.11. piemērs.** Noteikt aplēses aktīvo jaudu mehāniskajam ceham ar platību *F* = 1800 m2. Slodzes blīvums *σ* = 0,3 kW/m2. Atrisinājums. Aplēses aktīva slodze pēc formulas (4.39)



**4.12. piemērs.** Noteikt maksimālo strāvu līnijā, kas baro patērētāju grupu ar aplēses strāvu *Ia* = 250 A. Sūkņa dzinējam ar jaudu 30 kW ir maksimāla palaišanas strāva *Ip max* = 405 A pie nominālas strāvas *IN max* = 57,9 A. Izmantošanas koeficients *KI* = 0,7.

Atrisinājums. Maksimālo strāvu līnijā palaišanas brīdī aprēķina pēc formulas (4.40)

*Im = Ip max* + (*Ia - KI·IN max*) = 405 + (250 – 0,7·57,9) = 614,5 A.

**4.10. DAUDZĪVOKĻU MĀJU ELEKTROAPGĀDES SISTĒMU**

**SLODZES NOTEIKŠANA**

Daudzstāvu ēku tipi sadalīti 3 kategorijās:

* 1. kategorijas daudzdzīvokļu māja;
* 2. kategorijas daudzdzīvokļu māja;
* daudzdzīvokļu māja ar birojiem un/vai veikaliem apakšstāvos.

Daudzdzīvokļu mājas var būt apgādāti ar elektriskajiem plītīm vai ar gāzes plītīm.

2. kategorijas dzīvokļu elektroiekārtu sastāvs: apgaismes un rozetes tīkls, elektroplīts, veļas mašīna ar ūdens uzsildīšanu, teleradioaparatūra, ledusskapis, putekļu sūcējs, sadzīves elektroiekārta ar jaudu līdz 2,2 kW.

1. kategorijas dzīvokļu slodzes vērtība atkarīga no dzīvokļa īpašnieka pieteikumā uzrādītās slodzes. Elektroiekārtu sastāvā var būt dažādas saunas, ūdens sildītāji, kondicionētāji, siltas grīdas utt.

Dzīvojamām telpām jāņem vērā mājturības aparātu slodze (sk. 4.17. tab.).

4.17. tabula

**Sadzīves elektroiekārtas jaudas**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nr.**  **p.k.** | **Nosaukums** | **Uzstādīta jauda, W** |
| **1** | **2** | **3** |
| 1. | Gaismekļi | 1800-3700\* |
| 2. | Krāsains televizors TV-20” | 150 |
| 3. | Krāsains televizors TV-27’’ | 250 |
| 4. | Videomagnetofons VCR | 40 |
| 5. | Stereoatskaņotājs | 80-100 |
| 6. | Magnetofons CD | 35 |
| 7. | Ledusskapis | 150-300 |
| 8. | Saldēšanas kamera | 140 |
| 9. | Džakuzi | 2000-2500 |
| 10. | Putekļu sūcējs | 650-2000 |
|  |  |  |
| 4.17. tabulas turpinājums | | |
| **1** | **2** | **3** |
| 11. | Gludekļi | 900-2000 |
| 12. | Veļas mašīna |  |
|  | bez ūdens uzsildīšanas | 600 |
|  | ar ūdens uzsildīšanu | 2000-2500 |
| 13. | Tējkanna | 1500-3000 |
| 14. | Trauku mazgātājs | 2200-2500 |
| 15. | Kafijas vārāmais aparāts | 650-1000 |
| 16. | Gaļasmašīna | 1100 |
| 17. | Sulu spiede | 200-300 |
| 18. | Tosters | 650-1050 |
| 19. | Mikseris | 250-400 |
| 20. | Elektrofēns | 400-1600 |
| 21. | Elektriskā sega | 800 |
| 22. | Žāvējamais aparāts - elektriskais | 2200 |
| 23. | Cepešpanna | 1200 |
| 24. | Vafeļu panna | 1200 |
| 25. | Mikroviļņu krāsnis | 600-1500 |
| 26. | Plīšu filtrs ar ventilatoru | 250 |
| 27. | Griestu ventilators | 1000-2000 |
| 28. | Galda ventilators | 50 |
| 29. | Gaisa kondicionētājs - istabā | 1200 |
| 30. | Centrālais gaisa kondicionētājs | 4500 |
| 31. | Dators (desktop) | 150 |
| 32. | Klēpjdators (laptop) | 40 |
| 33. | Tintes drukātājs | 100 |
| 34. | Monitors – 17’’ | 150 |
| 35. | Grils krāsnis | 650-1350 |
| 36. | Stacionārais elektroplīts | 8500-10500 |
| 37. | Elektriskais somu pirts | 12000 |
| 38. | Dzīvokļu apgaismojums ar kvēlspuldzēm | 25-30 W/m2 |
| 39. | Dzīvokļu apgaismojums ar luminiscences spuldzēm | 10-12 W/m2 |
| 40. | Kontaktligzdu tīkls (tele radioaparatūra, sadzīves elektroiekārtas: gludeklis, veļas mašīna, ledusskapis utt.) | 25-30 W/m2 |
| 41. | Siltas grīdas | 60-80 W/m2 |

Viena dzīvokļa aplēses slodzē ietilpst arī pagrabu, kāpņu telpu un bēniņu apgaismošanas slodzes. Aplēses slodzes aprēķina metodika dota dzīvoklim ar vidējo platību 70 m2 (dzīvokļi ar kopējo platību no 35 līdz 90 m2) tipveida dzīvojamas mājās un 150 m2 (dzīvokļi ar kopējo platību no 100 līdz 300 m2) dzīvojamas mājās pēc speciālā projekta.

4.18. tabulā dota viena dzīvokļa īpatnēja slodze ziemas vakarā. Lai aprēķinātu viena dzīvokļa slodzi rītā vai dienā, slodze jāreizina ar 0,7, ja ir dabasgāzes plītis; ar 0,8, — ja ir elektriskās plītis un 0,6 – ja šķidrās gāzes plītis vai plī­tis ar cieto kurināmo. 4.18. tabulu izmanto, lai aprēķinātu apgaismošanas un mājturības slodzi vairākstāvu dzīvojamām ēkām.

Dzīvokļu īpatnējo slodzi, kas nav dotas 4.18 tabulā, aprēķina ar interpolācijas metodi.

Privāta māja īpatnēja slodze (4.19. tabula) dota privātam mājam ar kopējo platību no 150 līdz 600 m2. Aprēķinos nav pieņemta uzmanībā iespējama elektriskā apkure un ūdens sildītāji.

Labiekārtotām individuālām dzīvojamām mājām pēc speciālā projekta aprēķina aktīvo slodzi nosaka no speciālās diagrammas atkarībā no dzīvokļu skaita.

4.18. tabula

**Dzīvojamo māju īpatnēja slodze uz vienu dzīvokli (kW/dzīvoklis) atkarībā no**

**dzīvokļu skaita**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Dzīvokļa  raksturojums | Dzīvokļu skaits | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 24 | 40 | 60 | 100 | 200 | 400 | 600 | 1000 |
| Dabasgāzes plītis | 5,5 | 3,6 | 2,8 | 2,3 | 2 | 1,8 | 1,65 | 1,4 | 1,2 | 1,05 | 0,85 | 0,77 | 0,71 | 0,69 | 0,67 |
| Šķidrās gāzes plītis vai plī­tis ar cieto kurināmo | 6 | 4,2 | 3,4 | 2,9 | 2,5 | 2,2 | 2 | 1,8 | 1,4 | 1,3 | 1,08 | 1 | 0,92 | 0,84 | 0,76 |
| Elektriskās plītis ar jaudu līdz 6 kW | 6 | 4 | 3,2 | 2,7 | 2,4 | 2,15 | 2 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,15 | 1 | 0,9 | 0,85 | 0,8 |
| Elektriskās plītis ar jaudu līdz 9 kW | 9 | 7,2 | 5,9 | 4,9 | 4,3 | 3,9 | 3,7 | 3,1 | 2,6 | 2,1 | 1,5 | 1,36 | 1,27 | 1,23 | 1,19 |
| ar paaugstinātu komfortu un elektriskām plītīm līdz 10,5 kW | 14 | 9,5 | 8,1 | 6,7 | 5,9 | 5,3 | 4,9 | 4,2 | 3,3 | 2,8 | 1,95 | 1,83 | 1,72 | 1,67 | 1,62 |

4.19. tabulā dota viena privāta māja slodze ziemas vakarā. Lai aprēķinātu viena privāta māja slodzi rītā vai dienā, slodze jāreizina ar 0,7, ja ir dabasgāzes plītis; ar 0,8, — ja ir elektriskās plītis un 0,6 – ja šķidrās gāzes plītis vai plī­tis ar cieto kurināmo. 4.18. tabulu izmanto, lai aprēķinātu apgaismošanas un mājturības slodzi privātas mājas ciematam.

**2. kategorijas daudzdzīvokļu mājas aplēses slodzes aprēķins.**

Dzīvojama mājā dzīvokļu barošanas līnijas aprēķina slodzi nosaka, reizinot viena dzīvokļa aprēķina slodzi *Pdz.īpatn* ar dzīvokļu skaitu *n* (4.18. tab.):

*Pa.dz* = *Pdz.īpatn* ∙*n.* (4.45)

4.19. tabula

**Īpatnēja slodze uz vienu privāto māju, kW**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nr.**  **p.k.** | **Elektrouzņēmēji** | **Privāto māju skaits** | | | | | | | | | |
| **1-3** | **6** | **9** | **12** | **15** | **18** | **24** | **40** | **60** | **100** |
| 1. | Privātās mājas ar dabasgāzes plītīm | 11,5 | 6,5 | 5,4 | 4,7 | 4,3 | 3,9 | 3,3 | 2,6 | 2,1 | 2,0 |
| 2. | Privātās mājas ar dabasgāzes plītīm un elektriskajām somu pirtīm jaudai līdz 12 kW | 22,3 | 13,3 | 11,3 | 10,0 | 9,3 | 8,6 | 7,5 | 6,3 | 5,6 | 5,0 |
| 3. | Privātās mājas ar elektriskajām plītīm jaudai līdz 10,5 kW | 14,5 | 8,6 | 7,2 | 6,5 | 5,8 | 5,5 | 4,7 | 3,9 | 3,3 | 2,6 |
| 4. | Privātās mājas ar elektriskajām plītīm jaudai līdz 10,5 kW un elektriskajām somu pirtīm jaudai līdz 12 kW | 25,1 | 15,2 | 12,9 | 11,6 | 10,7 | 10,0 | 8,8 | 7,5 | 6,7 | 5,5 |

Pēc tam aprēķina tehniskās un sanitārā-tehniskās iekārtas slodzi.

*Pst = Pl + Ps + Pv,* (4.46)

kur *Pl* – liftu iekārtas jauda;

*Psti* *= Ps + Pv* – sanitārā-tehniskas (sūkņi, ventilatori) iekārtas jauda;

*Ps –* sūkņu iekārtas jauda;

*Pv –* ventilatoru iekārtas jauda.

Liftu iekārtas jaudu aprēķina pēc formulas

, (4.47)

kur *Pl.dz.* – lifta dzinēja jauda attiecināta pret ε = 100 %;

*K’p* – liftu iekārtas izmantošanas koeficients (4.20. tabula).

4.20. tabula

**Dzīvojamas mājas liftu iekārtas pieprasījuma koeficients *K’p***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Liftu iekārtas skaits** | **Stāvu skaits** | |
| **līdz 12 ≥ 12** | |
| 2-3 | 0.8 | 0.9 |
| 4-5 | 0.7 | 0.8 |
| 6 | 0.65 | 0.75 |
| 10 | 0.5 | 0.6 |
| 20 | 0.4 | 0.5 |
| 25 un augstāk | 0.35 | 0.4 |

Sanitārā-tehniskas (sūkņi, ventilatori) iekārtas dzinēju jaudu var aprēķināt pēc formulas

 (4.48)

kur *Psti.dz* – sanitārā-tehniskas (sūkņi, ventilatori) iekārtas dzinēju jauda;

*K’’p* - sanitārā-tehniskas iekārtas elektrodzinēju pieprasījuma koeficients (4.20. tabula).

Tagad var noteikt dzīvojama māja aplēses slodzi

*Pa.m = Pa.dz + K0∙Pst*, (4.49)

kur *K0* – spēka elektroiekārtas vienlaicības koeficients (parasti pieņem *K0* = 0,9).

Dzīvojama māja aprēķina slodzi uz kopnēm 0,4 kV var arī aprēķināt pēc formulas

*Pa.m = Pm.īpat ∙S*∙10-3, (4.50)

kur *Pm.īpat* - dzīvojama māja īpatnēja aprēķina slodze (W/m2) uz kopnēm 0,4 kV no 4.22. tabulas; S - dzīvojama māja kopēja platība.

4.21. tabula

**Sanitārā-tehniskas iekārtas elektrodzinēju pieprasījuma koeficients *K’’p***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Elektrodzinēju skaits** | ***K’’p*** | **Elektrodzinēju skaits** | ***K’’p*** |
| 2 | 1(0.8)\* | 20 | 0.65 |
| 3 | 0.9(0.75)\* | 30 | 0.6 |
| 5 | 0.8(0.7)\* | 50 | 0.55 |
| 8 | 0.75 | 100 | 0,55 |
| 10 | 0.7 | 200 | 0,5 |
| 15 | 0.65 |  |  |

*Piezīme.* Iekavās doti pieprasījuma koeficienti  dzinējam ar jaudu virs 30 kW

4.22. tabulā īpatnēja aprēķina slodze dota dzīvoklim ar platību 70 m2 (dzīvokļi ar kopējo platību no 35 līdz 90 m2) tipveida dzīvojamas mājās un 150 m2 (dzīvokļi ar kopējo platību no 100 līdz 300 m2) dzīvojamas mājās pēc speciālā projekta. Aprēķina slodzē ietilpst arī sūkņu sistēmas jaudas, liftu un ārējo apgaismojumu jaudu rajonā, bet nav pieņemti uzmanībā elektroapkures, ūdens sildītāju un gaisa kondicionētājus jaudas.

Caur svītriņu doti jaudas koeficienta cos*φ* skaitliskas vērtības.

***4.13. uzdevums.*** Noteikt aprēķina slodzi ievadā uz dzīvojamo 12 stāvu māju no četrām sekcijām. Dzīvojama mājā 172 dzīvokļu skaits ar dabasgāzes plītīm (100 dzīvokļi ar platību 55 m2, pārēji – 60 m2), liftu skaits - pa divām katra sekcijā ar dzinēju jaudu 7 kW, kas attiecināta uz *ε* = 100 %. Ēkā ir divi kabeļu ievadi, pie pirmā ievada pieslēgti dzīvokļi, pie otra – liftu iekārtas.

4.22. tabula

**Dzīvojama māja īpatnēja aprēķina slodze (W/m2) uz kopnēm 0,4 kV**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nr.**  **p.k.** | **Stāvu skaits** | **Dzīvojama māja** | | |
| **ar dabasgāzes plītīm** | **ar šķidrās gāzes plītīm vai plī­tīm ar cieto kurināmo** | **ar elektriskajām plītīm** |
| 1. | 1-2 stāvu ēkās | 15,0/0,96 | 18,4/0,96 | 20,7/0,98 |
| 2. | 3-5 stāvu ēkās | 15,8/0,96 | 19,3/0,96 | 20,8/0,98 |
| 3. | Vairāk par 5 stāvu ar dzīvokļu skaitu virs 6 stāva |  |  |  |
|  | 20% | 15,6/0,94 | 17,2/0,94 | 20,2/0,97 |
|  | 50% | 16,3/0,93 | 17,9/0,93 | 20,9/0,97 |
|  | 100% | 17,4/0,92 | 19,0/0,92 | 21,8/0,96 |
| 4. | Vairāk par 5 stāvu ar paaugstinātu komfortu dzīvokļiem | - | - | 17,8/0,96 |

Atrisinājums.

1. Aplēses aktīva slodze dzīvoklim, izmantojot datus no 4.18 tab.

*Pa.dz.* = *n*1·*Pdz.īp.* + *n*2·*Pdz.īp.* = 100·0,85 + 72·0,99 = 156,26 kW.

2. Aplēses aktīvā slodze liftu iekārtām, izmantojot datus no 4.20 tab.

*Pa.l. = n·K’P·Pl.dzin*. = 8·0,675·7 = 37,8 kW.

3. Kopēja aprēķina slodze dzīvojama māja ievadā (uz kopnēm 0,4 kV)

*Pa.m.* = *Pa.dz.* + 0,9·*Pl* = 156,26 + 0,9·37,8 = 190,28 kW.

4. Aplēses reaktīva slodze dzīvoklim, izmantojot datus no 4.23 tab.

*Qa.dz.* = *Pa.dz.* ·tg*φdz.* = 156,26·0,29 = 45,32 kVAr.

5. Aplēses reaktīvā slodze liftu iekārtām, izmantojot datus no 4.23 tab.

*Qa.l. = Pa.l.*·tg*φl* = 37,8·1,17 = 44,23 kVAr.

6. Aplēses pilnā slodze dzīvoklim



7. Aplēses pilnā slodze liftu iekārtām



8. Aplēses strāva dzīvoklim



Piezīme. Lai aprēķinātu īpatnējo slodzi 1. punktā, kas atrodas starp dotajiem skaitliskam vērtībām 4.18. tabulā var izmantot interpolācijas metode



***4.14. piemērs.*** Noteikt aprēķina slodzi ievadā uz dzīvojamo 17 stāvu māju no divām sekcijām. Dzīvokļi ar elektriskajam plītīm ar jaudu līdz 9 kW. Katrā stāvā atrodas 4 dzīvokļi (2 dzīvokļi ar platību 60 m2, viena – 75 m2 un viena – 100 m2). Katra sekcijā ir 2 lifti ar jaudu 7 un 4,5 kW, viens ventilators ar dzinēja jaudu 5 kW un ūdenssūknis ar dzinēja jaudu 4 kW. Ēkā ir divi kabeļu ievadi, pie pirmā ievada pieslēgti dzīvokļi, pie otra – liftu iekārtas.

Atrisinājums.

1. Dzīvokļu skaits – 136 dzīvokļi (*n*1 = 68 – dzīvokļu skaits ar platību 60 m2, *n*2 = =34 - dzīvokļu skaits ar platību 75 m2, *n*3 = 34 - dzīvokļu skaits ar platību 100 m2 ).

2. Dzīvokļu īpatnēja slodze (4.18. tabula)

*Pīp.dz.*1 = 1,98 kW/dz., ja *n*1 = 68 dz.

*Pīp.dz.*2 = 2,79 kW/dz., ja *n*2 = 34 dz.

*Pīp.dz.*3 = 2,79 kW/dz., ja *n*3 = 34 dz.

3. Aplēses aktīvā slodze dzīvokļu līnijā

*Pa.dz.* = *n*1·*Pīp.dz.*1 + *n*2·*Pīp.dz.*2 + *n*3·*Pīp.dz.*3 = 68·1,98 + 34·2,79 + 34·2,79 = 324,36 kW.

4. Aprēķina reaktīvā slodze dzīvokļu līnijā

*Qa.dz.* = *Pa.dz.*·tg*φdz.* = 324,36·0,2 = 64,87 kVAr.

5. Aplēses pilnā slodze dzīvokļiem

`

6. Aplēses aktīvā slodze liftu iekārtām (sekciju skaits – 2, liftu skaits – 2 ar jaudu 7,5 kW, 2 ar jaudu 4 kW)

*Pl* = *n··*(*Pl*1 + *Pl*2) = 2·0,8·(7 + 4,5) = 18,4 kW.

Pieprasījuma koeficients **no 4.20. tabulas, ja *nl* = 4.

7. Aplēses reaktīvā slodze liftu iekārtām (tg*φl*  no 4.23. tab.)

*Ql* = *Pl*·tg*φl* = 18,4·1,17 = 21,53 kVAr.

8. Aplēses aktīvā slodze ūdenssūkņu iekārtām

*Ps* = *n··Ps.dzin.* = 2·1·4 = 8 kW.

Pieprasījuma koeficients **no 4.21. tabulas, ja *nl* = 2.

9. Aplēses reaktīvā slodze ūdenssūkņu iekārtām

*Qs* = *Ps*·tg*φs* = 8·0,75 = 6 kVAr.

10. Aplēses aktīvā slodze ventilatoru iekārtām

*Pv* = *n··Pv.dzin.* = 2·1·5 = 10 kW.

11. Aplēses reaktīvā slodze ventilatoru iekārtām

*QV* = *Pv*·tg*φv* = 10·0,75 = 7,5 kVAr.

12. Sanitāro-tehniskas iekārtas aplēses aktīvā slodze

*PST = Pl + PS + PV* = 18,4 + 8 + 10 = 36,4 kW.

13. Sanitāro-tehniskas iekārtas aplēses reaktīvā slodze

*QST = Ql + QS + QV* = 21,5 + 6 + 7,5 = 35 kW.

14. Sanitāro-tehniskas iekārtas aplēses pilnā slodze



15. Dzīvojama māja aplēses aktīvā slodze

*Pa.m*. = *Pa.dz.* + *K*0·*PST* = 324,36 + 0,9·36,4 = 357,12 kW.

4.23. tabula

**Dzīvojama māja aprēķina jaudas koeficienti**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Elektropatērētājs** | **cosφ** | **tgφ** |
| Dzīvokļi ar elektriskajām plītīm | 0,98 | 0,2 |
| Dzīvokļi ar dabasgāzes, šķidrās gāzes plītīm vai plī­tīm ar cieto kurināmo  Квартиры с плитами на природном, газообразном  или твердом топливе | 0,96 | 0,29 |
| Sanitārā-tehniskas iekārtas (sūkņi, ventilatori u.c.) | 0,8 | 0,75 |
| Lifti | 0,65 | 1,17 |

**1. kategorijas daudzdzīvokļu mājas aplēses slodzes aprēķins.**

Dzīvokļa barošanas līnijas aprēķina slodzi nosaka, reizinot viena dzīvokļa pieteikumā uzrādītā dzīvokļa slodzi *Pdz.īpatn* ar pieprasījuma koeficientu *Kp* (4.24. tab.):

*Pdz.* = *Ppiet.dz.* ∙ *Kp.* (4.51)

4.24. tabula

**Pieprasījuma koeficients *K*p 1. kategorijas dzīvoklim**

| **Slodzes pieteikumā uzrādītā dzīvokļa slodze, kW** | **Līdz 14** | **20** | **30** | **40** | **50** | **60** | **≥ 70** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Pieprasījuma koeficients** | 0,8 | 0,65 | 0,6 | 0,55 | 0,5 | 0,48 | 0,45 |

# Ja pieprasīta jauda lielāka par 11 kW, tad jāizmanto trīsfāžu ievadu uz dzīvokļi.

# Dzīvojama mājā dzīvokļu barošanas līnijas aplēses slodzi aprēķina pēc formulas

# (4.52)

kur *K*0 – vienlaicības koeficients (4.25. tab.)

1,05 – ēkas kopējas apgaismojuma slodzes koeficients (kāpņu telpas, pagrabs, vestibils utt.).

4.25. tabula

**Vienlaicības koeficients *K*0 1. kategorijas dzīvoklim**

| **Dzīvokļa**  **raksturojums** | **Dzīvokļu skaits** | | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **3** | **6** | **9** | **12** | **15** | **18** | **24** | **40** | **60** | **100** | **200** | **400** | **≥ 600** |
| **Dabasgāzes plītis** | 1 | 0,65 | 0,51 | 0,38 | 0,32 | 0,28 | 0,26 | 0,22 | 0,18 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | 0,1 | 0,1 |
| **Elektriskās plītis** | 1 | 0,8 | 0,51 | 0,38 | 0,32 | 0,291 | 0,26 | 0,24 | 0,2 | 0,18 | 0,16 | 0,14 | 0,13 | 0,11 |

Ja dzīvojama mājā ir 1. un 2. kategorijas dzīvokļi, tad aplēses slodzi ēkas ievadā var noteikt summējot dzīvokļu slodzi

 (4.53)

kur  - aplēses slodze 1. kategorijas dzīvokļu ievadā (4.42);

*n*1 – 1. kategorijas dzīvokļu skaits ar doto slodzi;

 - aplēses slodze 2. kategorijas dzīvokļu ievadā (4.35);

*n*2 – 2. kategorijas dzīvokļu skaits ar doto slodzi;

*K*0 – vienlaicības koeficients (4.25. tab.).

***4.15. piemērs.*** Noteikt aprēķina slodzi ievadā uz 1. kategorijas dzīvojamo 10 stāvu māju no divām sekcijām ar pirmo dzīvojamo stāvu. Katra sekcijā 40 dzīvokļi ar elektriskajam plītīm, 30 dzīvokļi ar pieprasīto jaudu 16 kW, 10 dzīvokļi ar 35 kW. Katra sekcijā ir 2 lifti ar jaudu 5 un 3,5 kW.

Atrisinājums.

Aplēses slodze viena sekcijā 10 dzīvokļu ievadā (*Kp* no 4.24. tab.)

*Pdz.* = *Ppiet.dz.* ∙ *Kp =* 35·0,575 = 20,1 kW.

Aplēses slodze viena sekcijā 30 dzīvokļu ievadā

*Pdz.* = *Ppiet.dz.* ∙ *Kp =* 16·0,75 = 12 kW.

Aplēses slodze dzīvokļu līnijā vienā sekcijā (*K*0 no 4.25. tab., ja *n* = 40)

****

Ēkas aplēses slodze dzīvokļu barošanas līnijā (*K*0 no 4.25. tab., ja *n* = 80)

****

Aplēses slodze liftu iekārtām viena sekcijā (*K’p* no 4.20. tab.)



Ēkas aplēses slodze liftu iekārtām

*Pa.l* = *Pl*1 + *Pl*2 = 6,8 + 6,8 = 13,6 kW.

Dzīvojama māja aplēses slodze

*Pa.m = Pa.dz.* + 0,9·*Pl* = 200,3 + 0,9·13,6 = 212,5 kW.

***4.16. piemērs.*** Noteikt aprēķina slodzi ievadā uz dzīvojamo 10 stāvu māju no divām sekcijām ar pirmo dzīvojamo stāvu. Viena sekcijā 45 dzīvokļi 1. kategorijas ar elektriskajam plītīm un pieprasīto jaudu 20 kW. Otra sekcijā 60 dzīvokļi 2. kategorijas ar elektriskajam plītīm un pieprasīto jaudu 11 kW. Katra sekcijā ir 2 lifti ar jaudu 5 un 3,5 kW.

Atrisinājums.

Aplēses slodze viena sekcijā 45 dzīvokļu ievadā (*Kp* no 4.24. tab)

*Pdz.* = *Ppiet.dz.* ∙ *Kp =* 20·0,65 = 13 kW.

Ēkas aplēses slodze dzīvokļu barošanas līnijā (*K*0 no 4.25. tab., ja *n* = 105)



**Pilsētas rajons.** Aplēses slodze tīkla līnijai līdz 1 kV (var izmantot arī slodzes aprēķināšanai uz kopnēm 0,4 kV), ja no līnijas baro dzīvojamas mājas un administratīvi - sabiedriskas ēkas, var noteikt pēc formulas

*Pa.t = Pēka.max* +  (4.54)

kur *Pa.t* - aprēķina slodze tīkla līnijai līdz 1 kV;

*Pēka.max* – maksimāla aprēķina slodze starp visiem patērētājiem;

*Pēka.i* – aprēķina slodze visiem pārējiem patērētājiem;

*K0i* – katra patērētāja vienlaicības koeficients kopējā slodzē.

Vienlaicības koeficientu atrod no tabulām tehniskas rokasgrāmatas, piemēram, daļa no tādas tabulas dotā 4.26. tabulā.

Aprēķina slodzi administratīvi - sabiedriskajās ēkās var noteikt, izmantojot 4.27. tabulu.

Ja nav zināma ēkas ievada maksimālā jauda, to var aprēķināt pēc formulas

*Pmax = p∙S∙K*, (4.55)

kur *p* — ēku īpatnējā slodze (W/m2). To nosaka pēc 4.27 tabulas.

*S* — koeficients, kas atkarīgs no ēkas īpatnējas slodzes rakstura (4.27. tab.);

*K* — koeficients *Kd* vai *Kv* (atkarībā no tā, kad ir maksimālā slodze — dienā vai vakarā – 4.7. tab.).

**4.17. *Piemērs.*** Aprēķināt slodze uz transformatora apakšstacijas (TA) kopnēm 0,4 kV. Pilsēta mikrorajona shēma dotā 4.11. attēlā.

|  |
| --- |
|  |

4.11. att. Aprēķina shēma 4.17. piemēram.

Nr.1 un Nr.2 – dzīvojamas mājas, Nr.3 – bērnudārzs, Nr.4 – rūpniecības preču veikals

***Dotie lielumi.*** 1. Deviņstāvu dzīvojama māja, 100 dzīvokļi ar elektriskajām plītīm (jauda līdz 8,5 kW). Liftu skaits – 2, elektrodzinēju jauda 14 kW, ε = 25 %. Ūdenssūkņu skaits – 2 ar dzinējiem P = 11 kW (ε = 100 %).

2. Piecu stāvu dzīvojama māja, 40 dzīvokļi ar dabas gāzes plītīm. Lifta nav.

3. Bērnudārzs uz 320 vietām

4. Rūpniecības preču veikals ar kondicionēšanu - tirdzniecības zāle 500 m2.

*Aprēķins.*

1. Māja Nr. 1 dzīvokļu aprēķina elektriskā slodze (*Pdzīv.īpatn* no 4.18. tabulas)

*Pa.dziv*.1 = *n∙Pdzīv.īpatn* = 100∙1,5 = 150 kW

2. Māja Nr. 1 ir 2 lifti un 2 ūdenssūkņi

Liftu dzinēju jauda attiecināta pret ε = 100 %:

*Pl.dz* = 14∙√0,25 = 14∙0,5 = 7 kW.

Sanitāro-tehniskas iekārtas aprēķina aktīvā slodze

*Pa sp* = *Pl + Pud.*

No 4.20. tabulas liftu iekārtas pieprasījuma koeficients = 0,8 un liftu dzinēju kopēja jauda

*Pl.* = *n∙**∙Pl.dz* = 2∙0,8∙7 = 11,2 kW

Ūdenssūkņu dzinēju uzstādīta jauda ir *Pud.dz.* = 11 kW, tad ūdenssūkņu iekārtas jauda

*Pud* = *n∙*∙*Pud.dz* = 2∙1∙11 = 22 kW.

Dzinēju pieprasījuma koeficients ** = 1 (4.21. tabula).

Sanitāro-tehniskas iekārtas aprēķina aktīvā slodze

*Pa.st* = *Pl* + *Pud* = 11,2 +22 = 33,2 kW.

Kopēja māja Nr.1 elektriskā aktīvā slodze

*Pa.Nr.*1 = *Pa.dziv*. + *K*0*Pa.st* = 150 +0,9∙33,2 = 179,88 kW

2. Dzīvojamās mājas reaktīvo slodzi aprēķināsim izmantojot reaktīvas jaudas koeficienti no 4.23. tabulas

Dzīvokļu reaktīvā jauda

*Qdzīv.*1 = *Pa.dzīv*1∙tg*φdziv*1 = 150∙0,2 = 30 kVAr

Liftu iekārtas reaktīvā jauda

*Ql* = *Pl*∙tg*φl* = 11,2∙1,17 = 13,1 kVAr.

Ūdenssūkņu iekārtas reaktīvā jauda (4.23. tabula)

*Qu* = *Pu∙*tg*φu* = 22∙0,75 = 16,5 kVAr.

3. Piecu stāvu dzīvojamam mājam ar dabas gāzes plītīm dzīvokļu aprēķina aktīvā un reaktīvā elektriskā slodze (4.18. tabula)

*Pa.Nr.*2 = *Pa.dziv.* = *n∙Pdz.īpatn* = 40∙1,2 = 48 kW

*QNr.*2 = *Pa.Nr.*2∙tg*φNr.*2 = 48∙0,29 = 13,92 kVAr.

4. Bērnudārza aprēķina aktīvā slodze (*Pīpatn.Nr.*3 no 4.27. tabulas)

*Pa.Nr.*3 = *m*∙*Pīpatn.Nr.*3 = 320∙0,46 = 147,2 kW

kur *m* – vietu skaits bērnudārzā

Reaktīvā slodze (jaudas koeficients un tg*φNr.*3 no 4.27. tabulas)

*QNr.3* = *Pa.Nr.*3∙tg*φNr.*3 = 147,2∙0,25 = 36,8 kVAr.

5. Rūpniecības preču veikala ar kondicionēšanu aktīvā aprēķina slodze (*Pīpatn.Nr.*4 no 4.27. tabulas)

*Pa.Nr.*4 = *S∙Pīpatn.Nr.*4 = 500∙0,16 = 80 kW

kur *S* - tirdzniecības zāles platība.

Reaktīvā slodze

*QNr.*4 = *Pa.Nr.*4∙tg*φNr.*4 = 80∙0,48 = 38,4 kVAr.

6. Rajona aprēķina elektriskā slodze, ja elektriskais tīkls pievadīts pie dzīvojamam un administratīvam ēkām var aprēķināt ar formulu

179,88 + 0,9∙48 + 0,5∙147,2 + 0,5∙80 = 358,12 kW,

4.26. tabula

**Dzīvojamas mājas un sabiedriskas ēkas maksimuma koeficienti KM**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ēkas ar vislielāko slodzi** | **Dzīvojamas mājas ar plītīm** | | **Sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumi** | | **Vidusskolas, bibliotēkas** | **Pamatskolas, arodskolas** | **Pārvaldes, finanšu, projektu organizācijas** | **Tirdzniecības uzņēmumi** | | **Viesnīcās** | **Frizētavas** | **Bērnudārzi** | **Poliklīnikas** | **Ateljē, sadzīves pakalpojumu kombināti** | **Komunālo pakalpojumu uzņēmumi** | **Kinoteātri** |
| **elektriskajiem** | **gāzes** | **ēdnīcas** | **kafejnīcas, restorāni** | **vienmaiņu** | **divmaiņu** |
| **Dzīvojamas mājas:** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **ar elektriskajiem plītīm** | — | 0,9 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,4 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,9 |
| **ar gāzes plītīm** | 0,9 | — | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,9 |
| **Sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumi (ēdnīcas, kafejnīcas, restorāni** | 0,4 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,5 |
| **Pamatskolas, vidusskolas, arodskolas, bērnudārzi, bibliotēkas** | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 |
| **Tirdzniecības uzņēmumi (maiņu skaits 1 un 2)** | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 |
| **Pārvaldes, finanšu, projektu organizācijas** | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0.8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,5 |
| **Viesnīcās** | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 0,8 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,4 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,9 |
| **Poliklīnikas** | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 |
| **Ateljē, sadzīves pakalpojumu kombināti, komunālo pakalpojumu uzņēmumi** | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 |
| **Kinoteātri** | 0,9 | 0,9 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | — |

4.27. tabula

**Sabiedriskās ēkās īpatnēja aprēķina slodze**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nr. p.k.** | **Sabiedriskās ēkas** | **Mērvienība**  **(koef. S)** | **Īpatnēja slodze** | **Koeficienti**  **cos*φ* tg*φ*** | |
| **I** | **Izglītības iestādes.** |  |  |  |  |
|  | Skola: |  |  |  |  |
| 1. | - ar elektrificētu ēdnīcu un sporta zāli | kW/skolnieks | 0,25 | 0,95 | 0,38 |
| 2. | - bez elektrificētu ēdnīcu un sporta zāli | Tas pats | 0,17 | 0,92 | 0,43 |
| 3. | - ar bufete bez sporta zāli | -"- | 0,17 | 0,92 | 0,43 |
| 4. | - bez bufete un sporta zāli | -"- | 0,15 | 0,92 | 0,43 |
| 5. | Profesionāla izglītības iestāde ar ēdnīcu | -"- | 0,46 | 0,8-0,92 | 0,75-0,43 |
| 6. | Bērnudārzs | kW/vieta | 0,46 | 0,97 | 0,25 |
| **II** | **Tirdzniecības uzņēmumi** |  |  |  |  |
|  | Pārtikas veikali: |  |  |  |  |
| 7. | - bez kondicionēšanas | кW/m2 | 0,23 | 0,82 | 0,7 |
| 8. | - ar kondicionēšanu | Tas pats | 0,25 | 0,8 | 0,75 |
|  | Pārēji veikali |  |  |  |  |
| 9. | - bez kondicionēšanas | -"- | 0,14 | 0,92 | 0,43 |
| 10. | - ar kondicionēšanu | -"- | 0,16 | 0,9 | 0,48 |
| **III** | **Sabiedriskās ēdināšanas uzņēmumi** |  |  |  |  |
|  | Pilnīgi elektrificētie ar vietu skaitu: |  |  |  |  |
| 11. | - līdz 400 | kW/vieta | 1,04 | 0,98 | 0,2 |
| 12. | - no 500 līdz 1000 | kW/vieta | 0,86 | 0,98 | 0,2 |
| 13. | - virs 1100 | kW/vieta | 0,75 | 0,98 | 0,2 |
|  | ar dabasgāzes plītīm un vietu skaitu : |  |  |  |  |
| 14. | - līdz 100 | kW/vieta | 0,9 | 0,95 | 0,33 |
| 15. | - no 100 līdz 400 | kW/vieta | 0,81 | 0,95 | 0,33 |
| 16. | - no 500 līdz 1000 | kW/vieta | 0,69 | 0,95 | 0,33 |
| 17. | - virs 1100 | kW/vieta | 0,56 | 0,95 | 0,33 |
| **IV** | **Komunālo –sadzīves uzņēmumi** |  |  |  |  |
| 18. | Ķīmiskas tīrītavas | kW/кg mantas | 0,075 | 0,8 | 0,75 |
| 19. | Frizētavas | кW/darb.vieta | 1,5 | 0,97 | 0,25 |
| **V** | **Kultūras un mākslas iestādes** |  |  |  |  |
|  | Kinoteātri un teātri |  |  |  |  |
| 20. | - bez kondicionēšanas | кW/vieta | 0,12 | 0,95 | 0,33 |
| 21. | - ar kondicionēšanu | кW/vieta | 0,14 | 0,92 | 0,43 |
| 22. | Klubi | кW/vieta | 0,46 | 0,92 | 0,43 |
| **VI** | **Administratīvās ēkas:** |  |  |  |  |
| 23. | - bez kondicionēšanas | kW/m2  kop.platības | 0,043 | 0,9 | 0,48 |
| 24. | - ar kondicionēšanu | Tas pats | 0,054 | 0,87 | 0,57 |
| VII | **Atpūtas un atveseļošanas iestādes** |  |  |  |  |
| 25. | Atpūtas nami un pansionāti bez kondicionēšanas | кW/vieta | 0,36 | 0,92 | 0,43 |
| 26. | Nometnes bērniem | кW/m2 dz.platības | 0,023 | 0,92 | 0,43 |
| **VIII** | **Komunālo –sadzīves iestādes** |  |  |  |  |
|  | Viesnīcās: |  |  |  |  |
| 27. | - bez kondicionēšanas (bez restorāna) | кW/vieta | 0,34 | 0,9 | 0,48 |
| 28. | - ar kondicionēšanu | Tas pats | 0,46 | 0,85 | 0,62 |

kur maksimuma koeficientus var atrast 4.26. tabulā

Tālāk jāaprēķina jaudas zudumi barojoša līnijā.

**4.18. Piemērs.** Gaisvadu līnija baro ciematu kas sastāv no 9 individuālajiem labiekārtotam dzīvojamam mājam (kotedžiem). Individuālās mājas ar elektriskajam plītīm jaudai līdz 10,5 kW un elektriskajām somu pirtīm jaudai līdz 12 kW. Noteikt gaisvadu līnijas aprēķina slodzi un aprēķināt slodzes strāvu barošanas līnijā.

Risinājums.

1. No 4.16. tabulas kotedžu īpatnēja elektriskā slodze *Pīp* = 12,9 kW/kotedža.

2. Aprēķina jauda (slodze) *Pa = n·KP·Pīp* = 9·0,76·12,9 = 88,236 kW, kur *n* – kotedžu skaits, *KP* – pieprasījuma koeficients no 4.26.tabulas

4.28. tabula

**Pieprasījuma koeficients *KP***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nr. p.k.** | **Objekta nosaukums** | ***KP*** |
| 1. | Kotedža ar S < 100 m2 | 1,0 |
| 2. | Kotedža ar S > 100 m2 | 0,85…0,9 |
| 3. | Kotedžu skaits 5…10 | 0,75…0,8 |
| 4. | Kotedžu skaits 10…15 | 0,7…0,75 |

3. Aprēķina strāva ir atkarīga no gaisvadu līnijas konstruktīvajam īpašībām.

3.1. gaisvadu līnija izpildīta ka divvadu līnija (4.12. att.) ar nominālo spriegumu *UN* = 220 V.

|  |
| --- |
|  |

4.12. att.

Aprēķina strāva 

3.2. Līnija izpildīta ka divfāzu nozarojums (4.13. att.) no trīsfāžu četrvadu līnijas ar nominālo spriegumu 380/220 V (2L + N). Lai aprēķinātu strāvu mēs varam pieņemt ka slodze dalās uz divām vienfāzes grupām ar nominālo spriegumu *UN* = 220 V.

|  |
| --- |
|  |

4.13. att.

Aprēķina strāva 

3.3. Līnija izpildīta ka trīsfāzu līnija (3L) un baro elektropatērētājus ar spriegumu *UN* = 220 V (4.14. att.).

Aprēķina strāva 

|  |
| --- |
|  |

4.14. att.

3.4. Līnija izpildīta ka četrvadu līnija (3L + N) ar nominālo spriegumu 380/220V (4.15. att.).

|  |
| --- |
|  |

4.15. att.

Aprēķina strāva 

**4.19. piemērs.** 4.16. attēlā paradīts dzīvojama rajona ģenerāls plāns , bet 4.29. tabulā komunāla sadzīves patērētāju uzstādītas jaudas. Aprēķināt rajona aplēses slodze.

Rajona patērētāju aplēses jaudas aprēķins atrodas 4.30. tabulā

Rajona aplēses aktīvas un reaktīvas jaudas no 4.30. tabulas



Rajona apgaismes iekārtas aplēses aktīva jauda sastāda



Dzīvojama rajona pilnā aplēses jauda



kur *n* – objektu skaits

**Rajona slodzes kartogramma.** Transformatoru apakšstacijasbūvvietas izvēli ieteicams sākt ar aktīvās slodzes kartogrammas sastādīšanu. Slodzes kartogramma ir rajona ģenerālplāns, kurā uz katra elektroenerģiju patērējoša objekta uz­zīmēts šī objekta aplēses slodzei proporcionāla laukuma aplis. Līdz ar to *i*-tā objekta aktīvo slodzi *Pi* var izteikt šādi:

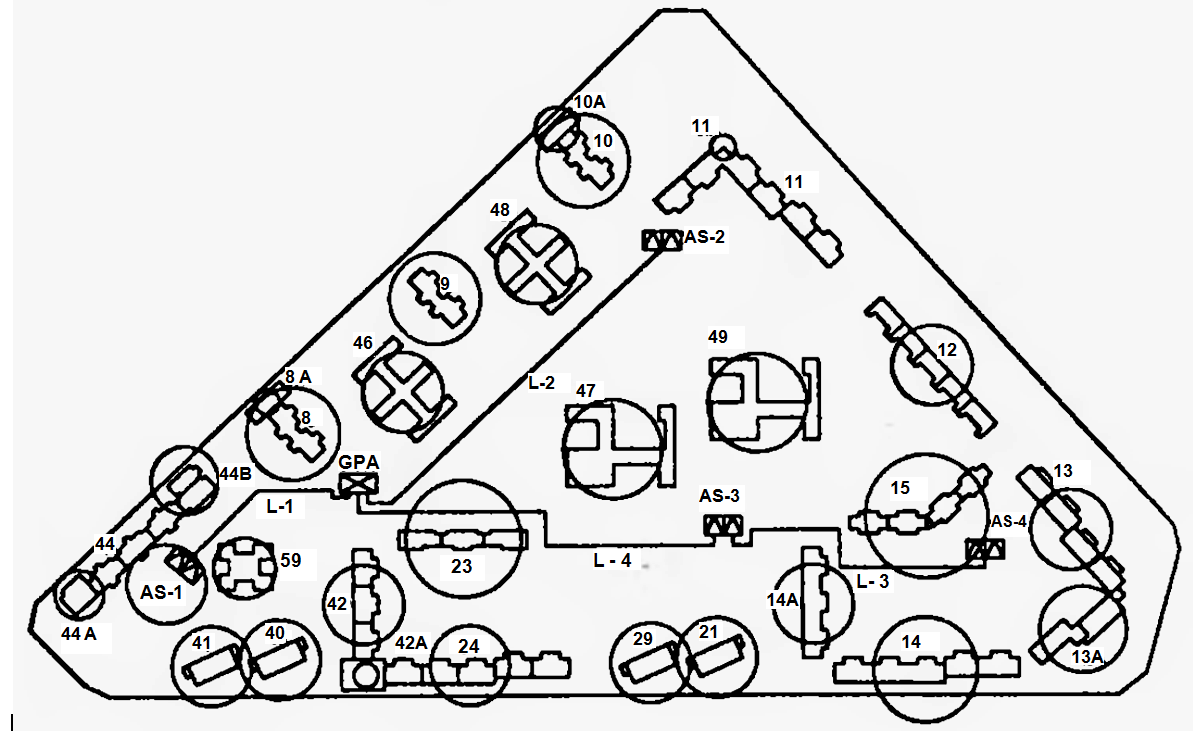
*Pi = n∙Ri*2*∙m*,(4.56)

kur *Ri* — apļa rādiuss; *m* — pieņemtais mērogs.

Aprēķina katra objekta aktīvas jaudas apļa rādiusi

 (4.57)

kur *Ri* – katra objekta aktīvas slodzes apļa rādiusi; *P* - katra objekta aktīva jauda; *m* – aktīvas jaudas slodzes mērogs.



4.16. att. Dzīvojamā rajona ğenerāls plāns

4.29. tabula

**Dzīvojama rajona komunālas un sadzīves patērētāju slodzes**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Korpusa numurs** | **Elektropatērētāja nosaukums** | **Stāvu**  **skaits** | **Mērvienība** | **Platība**  **F, m2** | **Īpatnējais rādītājs** | **cosφ/tgφ** | **Liftu**  **skaits** | **Pуст,**  **кВт** | **kс.л** |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| 44 | Dzīvojamā māja | 9 | Dzīvoklis | 180 | 0,45 | 0,92/0,42 | 6 | 11 | 0,55 |
| 44А | Pārtikas veikals | - | m2 tirdzniecības telpas | 377 | 0,11 | 0,75/0,88 | - | - | - |
| 44 Б | Rūpniecības  preču veikals | - | tirdzniecības telpas platība m2 | 1000 | 0,08 | 0,85/0,62 | - | - | - |
| 41 | Dzīvojamā māja | 16 | Dzīvoklis | 111 | 0,88 | 0,92/0,42 | 2 | 9; 11 | 1,0 |
| 40 | Dzīvojamā māja | 16 | Dzīvoklis | 111 | 0,88 | 0,92/0,42 | 2 | 9; 11 | 1,0 |
| 59 | Bērnudārzs | - | Vieta | 160 | 0,40 | 0,96/0,29 | - | - | - |
| 42А | Frizētava | - | Krēsls | 9 | 1,3 | 0,97/0,25 | - | - | - |
| 42 | Dzīvojamā māja | 9 | Dzīvoklis | 105 | 0,88 | 0,92/0,42 | 3 | 11 | 0,75 |
| 8 | Dzīvojamā māja | 16 | Dzīvoklis | 125 | 0,88 | 0,92/0,42 | 4 | 9; 11 | 0,90 |
| 8А | Bērnu piena  virtuve | - | Objekts/m2 | 1 | 10 | 0.90/0,48 | - | - | - |
| 24 | Dzīvojamā māja | 9 | Dzīvoklis | 173 | 0,45 | 0,92/0,42 | 5 | 11 | 0,55 |
| 23 | Bērnudārzs | 16 | Vieta | 223 | 0,82 | 0,92/0,42 | 6 | 9; 11 | 0.75 |
| 46 | Dzīvojamā māja | - | Dzīvoklis | 280 | 0,40 | 0,96/0,29 | - | - | - |
| 9 | Dzīvojamā māja | 16 | Dzīvoklis | 125 | 0,88 | 0,92/0,42 | 4 | 9; 11 | 0,90 |
| 29 | Dzīvojamā māja | 16 | Dzīvoklis | 111 | 0,88 | 0,92/0,42 | 2 | 9; 11 | 1,0 |
| 47 | Skola | - | Vieta | 1176 | 0,14 | 0,95/0,33 | - | - | - |
| 48 | Bērnudārzs | - | Vieta | 280 | 0,40 | 0,96/0,29 | - | - | - |
| 21 | Dzīvojamā māja | 16 | Dzīvoklis | 111 | 0,88 | 0,92/0,42 | 2 | 9; 11 | 1,0 |
| 14А | Dzīvojamā māja | 9 | Dzīvoklis | 103 | 0,88 | 0,92/0,42 | 3 | 11 | 0,75 |
| 49 | Skola | - | Vieta | 1176 | 0,14 | 0,95/0,33 | - | - | - |
| 10 | Dzīvojamā māja | 16 | Dzīvoklis | 125 | 0,88 | 0,92/0,42 | 4 | 9; 11 | 0,90 |
| 10А | Pārtikas veikals | - | tirdzniecības telpas platība m2 | 300 | 0,11 | 0,75/0,88 | - | - | - |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4.29. tabulas turpinājums | | | | | | | | | |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| 11 | Dzīvojamā māja | 12 | Dzīvoklis | 360 | 0,88 | 0,92/0,42 | 6 | 11 | 0,75 |
| 11А | Banka | - | Objekts | 1 | 10 | 0,90/0,48 | - | - | - |
| 14 | Dzīvojamā māja | 9 | Dzīvoklis | 172 | 0,88 | 0,92/0,42 | 5 | 11 | 0,55 |
| 15 | Dzīvojamā māja | 17 | Dzīvoklis | 250 | 0,82 | 0,92/0,42 | 8 | 9; 11 | 0,65 |
| 12 | Dzīvojamā māja | 9 | Dzīvoklis | 180 | 0,45 | 0,95/0,42 | 5 | 11 | 0,55 |
| 13А | Dzīvojamā māja | 16 | Dzīvoklis | 118 | 0,88 | 0,92/0,42 | 4 | 9; II | 0,90 |
| 13 | Dzīvojamā māja | 9 | Dzīvoklis | 154 | 0,45 | 0,92/0.42 | 4 | 11 | 0.65 |

4.30. tabula

**Patērētāju aplēses jaudas aprēķins**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Korpusa numurs** | **Elektropatērētāja nosaukums** | ***Рр*, кВт** | ***Qp*, kVar** | ***Sр*, кВ·A** |
| 44 | Dzīvojamā māja | 116 | 76 | 142 |
| 44 А | Pārtikas veikals | 41 | 36 | 55 |
| 44Б | Rūpniecības preču veikals | 80 | 50 | 94 |
| 41 | Dzīvojamā māja | 116 | 64 | 136 |
| 40 | Dzīvojamā māja | 116 | 64 | 136 |
| 59 | Bērnudārzs | 64 | 19 | 67 |
| 42А | Frizētava | 12 | 3 | 12 |
| 42 | Dzīvojamā māja | 115 | 68 | 138 |
| 8 | Dzīvojamā māja | 142 | 88 | 174 |
| 8А | Bērnu piena virtuve | 10 | 5 | 11 |
| 24 | Dzīvojamā māja | 105 | 68 | 130 |
| 46 | Bērnudārzs | 112 | 32 | 117 |
| 9 | Dzīvojamā māja | 142 | 88 | 173 |
| 23 | Dzīvojamā māja | 223 | 129 | 266 |
| 29 | Dzīvojamā māja | 116 | 64 | 136 |
| 47 | Skola | 165 | 54 | 173 |
| 48 | Bērnudārzs | 112 | 32 | 117 |
| 21 | Dzīvojamā māja | 116 | 64 | 136 |
| 14А | Dzīvojamā māja | 113 | 67 | 136 |
| 49 | Skola | 165 | 54 | 173 |
| 10 | Dzīvojamā māja | 142 | 88 | 174 |
| 10А | Pārtikas veikals | 33 | 29 | 44 |
| 11 | Dzīvojamā māja | 361 | 191 | 419 |
| 11А | Banka | 10 | 5 | 11 |
| 14 | Dzīvojamā māja | 179 | 99 | 210 |
| 15 | Dzīvojamā māja | 252 | 147 | 301 |
| 12 | Dzīvojamā māja | 108 | 69 | 133 |
| 1 ЗА | Dzīvojamā māja | 136 | 86 | 167 |
| 13 | Dzīvojamā māja | 95 | 63 | 118 |
|  | **Kopā:** | **3497** | **1902** | **3981** |

Ja ir zināmi tikai *P* un cos*φ*, tad reaktīvo jaudu var aprēķināt no izteiksmes

*Q* = *P*tg *φ*. (4.58)

Patērētāju aplēses slodzes var atrast 4.30 tabulā. Par mērogu pieņemam *m* = 0,05 kW/mm2. Aktīvas jaudas *Ri* aprēķina rezultāti doti 4.31. tabulā.

Katra apļa centrs atrodas attiecīgā objekta slodzes centrā, t. i., simboliskā elektroenerģijas patēriņa punktā. Nevienmērīga slodžu sadalījuma gadījumā slodzes centra koordinātas atrod tāpat kā smaguma centru sistēmai ar nevienmērīgi sadalītu masu:

 (4.59)



kur X*a*0, Y*a*0 — aktīvo elektrisko slodžu centra koordinātas, km; X*r*0, Y*r*0 — reaktīvo elektrisko slodžu centra koordinātas, km; *Xi, Yi* — *i*-tā objekta elektrisko slodžu centra koordinātas; *Pi* — *i*-tā ob­jekta aktīvā aplēses slodze; *Qi* — *i*-tā ob­jekta reaktīvā aplēses slodze; *n* — aplūkojamo objektu skaits.

Mūsu gadījumā





A(*xa*0, *ya*0) = A(143 m, 373 m) – galvenās pazeminošās apakšstacijas (GPA) koordināti. B(*xq*0, *yq*0) = B(134 m, 373 m) – kondensatoru iekārtas atrašanas vieta.

Reaktīvajai slodzei analogi konstruē atsevišķas kartogrammas, kuras izmanto reaktīvās jaudas avotu (kondensatoru bateriju, sinhrono kompensatoru, sinhrono dzinēju) optimālai izvietošanai.

Pēc tam kad noteikti atsevišķo objektu un visa rajona slodžu centri, var sākt AS izvietošanu ģenerālplānā, to jaudas un apkalpes zonu noteikšanu, vadoties no konkrētiem apstākļiem un vispārīgām prasībām.

4.31. tabula

**Aktīvas un reaktīvas jaudas slodzes centra noteikšana**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Objekta numurs** | ***Pa.i*,**  **kW** | ***Qa.i*, kVAr** | ***Ri*,**  **mm** | ***Хi*,**  **m** | ***Уi*,**  **m** | ***Pa.i·Xi*,**  **kW·m** | ***Pa.i·Yi*,**  **kW·m** | ***Qa.i·Xi*,**  **kVAr·m** | ***Qa.i·Yi*, kVAr·m** |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| 44 | 116 | 76 | 27 | 80 | 660 | 9280 | 76 560 | 6080 | 50 160 |
| 44А | 41 | 36 | 16 | 70 | 720 | 2870 | 29 520 | 2520 | 25 920 |
| 44Б | 80 | 50 | 22 | 144 | 650 | 11 520 | 52 000 | 7200 | 32 500 |
| 41 | 116 | 64 | 27 | 22 | 630 | 2552 | 73 080 | 1408 | 40 320 |
| 40 | 116 | 64 | 27 | 28 | 590 | 3248 | 68 440 | 1792 | 37 760 |
| 59 | 64 | 19 | 20 | 88 | 614 | 5632 | 39 296 | 1672 | 11666 |
| 42А | 12 | 3 | 9 | 16 | 540 | 192 | 6480 | 48 | 1620 |
| 42 | 115 | 68 | 27 | 64 | 540 | 7360 | 62 100 | 4352 | 36 720 |
| 8 | 142 | 88 | 30 | 174 | 570 | 24 708 | 81 792 | 15312 | 50 160 |
| 8А | 10 | 5 | 8 | 194 | 584 | 1940 | 5840 | 970 | 2920 |
| 24 | 105 | 68 | 26 | 16 | 462 | 1680 | 48 510 | 1088 | 31416 |
| 23 | 223 | 129 | 38 | 108 | 476 | 24 084 | 106 148 | 4104 | 61 404 |
| 46 | 112 | 32 | 27 | 200 | 510 | 22 400 | 57 120 | 6400 | 16 320 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4.31. tabulas turpinājums | | | | | | | | | | |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| 9 | 142 | 88 | 30 | 260 | 480 | 36 920 | 68 160 | 22 880 | 42 240 |
| 29 | 116 | 64 | 27 | 20 | 346 | 2320 | 40 136 | 1280 | 22 144 |
| 47 | 165 | 54 | 32 | 162 | 358 | 26 730 | 59 070 | 8748 | 19332 | | |
| 48 | 112 | 32 | 27 | 284 | 410 | 31 808 | 45 920 | 9088 | 13 120 | | |
| 21 | 116 | 64 | 27 | 24 | 306 | 2784 | 35496 | 1536 | 19 584 | | |
| 14A | 113 | 67 | 27 | 60 | 246 | 6780 | 28 596 | 4020 | 16 482 | | |
| 49 | 165 | 54 | 32 | 190 | 264 | 31 350 | 43 500 | 10260 | 14 256 | | |
| 10 | 142 | 88 | 30 | 350 | 380 | 49 700 | 53 960 | 30 800 | 33 440 | | |
| 10A | 33 | 29 | 14 | 370 | 398 | 12210 | 13 134 | 10730 | 11 542 | | |
| 11 | 361 | 191 | 48 | 304 | 280 | 109 744 | 101080 | 58 064 | 53 480 | | |
| 11А | 10 | 5 | 8 | 360 | 296 | 3600 | 2960 | 1800 | 1480 | | |
| 14 | 179 | 99 | 34 | 16 | 170 | 2864 | 30430 | 1584 | 16 830 | | |
| 15 | 252 | 147 | 40 | 110 | 174 | 27 720 | 43 848 | 16 170 | 25 578 | | |
| 12 | 108 | 69 | 26 | 214 | 158 | 23 112 | 17 064 | 14 766 | 10902 | | |
| 13A | 136 | 86 | 29 | 40 | 60 | 540 | 8160 | 3440 | 5160 | | |
| 13 | 95 | 63 | 25 | 104 | 70 | 9880 | 6650 | 6552 | 4410 | | |
| **Kopā:** | **3497** | **1902** | **-** | **-** | **-** | **500 426** | **1 305 050** | **254 664** | **708 866** | | |

**4.11. APGAISMES ELEKTRISKO TĪKLU PATĒRĒTĀJU SLODZES**

**APRĒĶINS**

Apgaismes tīklos aprēķina slodzi nosaka, reizinot uz­stādīto apgaismošanas jaudu ar pieprasījuma koeficientu *Kp*. Uzstā­dīto apgaismošanas jaudu iegūst, izdarot gaismas tehnisko aprēķinu. Viena objekta aprēķina apgaismošanas slodzi *Pa* nosaka pēc formulas

*Pa = Kp∙Pu*, (4.60)

kur *Kp* — pieprasījuma koeficients (4.32. tab.);

*Pu* — uzstādītā apgaismošanas jauda.

4.32. tabula

**Pieprasījuma koeficients *Kp***

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Objekta nosaukums** | **Pieprasījuma koeficienta *Kp* sakarība no**  **apgaismes uzstādītai jaudai, kW** | | | | | | |
| līdz 5 | 6-10 | 11-15 | 10-25 | 26-50 | 51- 100 | 100-200 |
| Sabiedriskās ēdināšanas uz­ņēmumi, bērnudārzi, arodskolas mācību – ražošanas darbnīcas | 1 | 0.9 | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 |
| Pārvaldes iestādes, pamatskolas, vidusskolas, arodskolas, sadzīves pakalpojuma uzņēmumi, bibliotēkas | 1 | 0,95 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,7 |
| Tirdzniecības uzņēmumi, projektu biroji | 1 | 1 | 0,95 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,75 |
| Viesnīcas | 1 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,45 | 0,4 |
| Ārēja un avārijas apgaismošana | 1,0 | | | | | | |
| Nelielas ražošanas ēkas | 1,0 | | | | | | |
| Rūpniecības uzņēmumi ar lielpaneļu ēkām | 0,95 | | | | | | |
| Rūpniecības ēkas ar lielu atsevišķu telpu skaitu | 0,85 | | | | | | |
| Noliktavas, sadales iekārtas un apakšstacijas | 0,6 | | | | | | |

Aprēķinot grupu tīklu, pieņem, ka pieprasījuma koeficients ir vie­nāds ar vienu. Apgaismošanas iekārtās, kurās ir luminiscences un izlādes spuldzes (HQL, ДPЛ tipa), aprēķinot jaudu, jāievēro jaudas zudums palai­šanas un regulēšanas aparātos.

Luminiscences spuldzēm, kas ieslēg­tas shēmās ar starteri, apgaismošanas aprēķina slodze

*Pa* = l,2∙*Kp∙Pu*; . (4.61)

luminiscences spuldzēm, kas ieslēgtas shēmās bez startera,

*Pa* = 1,3∙*Kp∙Pu*; (4.62)

Izlādes tipa spuldzēm

*Pa* = 1,1∙*Kp∙Pu*. (4.63)

Elektroietaišu ierīkošanas noteikumos (EIN) uz vistālākajām spuldzēm atļauts nominālā sprieguma samazinājums par 2,5% — rūpniecības uzņēmumu un sabiedrisko ēku iekšējam darba ap­gaismojumam, kā arī ārējā apgaismojuma prožektoru iekārtām; par 5% — dzīvojamo ēku, avārijas apgaismojumam un ārējā apgaismojuma gaismekļiem; par 10% — apgaismošanas tīkliem ar spriegumu 12-40 V, skaitot no pazeminošā transformatora zemākā sprieguma ievadiem. Sprieguma paaugstinājums tīklā spuldzēm nedrīkst pārsniegt 5% no nominālā.

Apgaismošanas tīklu vadu šķērsgriezumu (mm2), ievērojot sprieguma zudumu, nosaka pēc formulas

 (4.64)

kur *S* — vada šķērsgriezums (mm2);

*Pa* — aprēķina slodze (kW);

l — aprēķināmā līnijas posma garums (m);

Δ*U* — sprieguma zudums (%);

*c* — koeficients, kas atkarīgs no tīkla sprieguma un sistē­mas, kā arī no vada materiāla. Koeficientu c nosaka pēc 4.33. tabulas.

4.33. tabula

**Koeficienta *c* vērtības**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tīkla spriegums, V** | **Tīkla sistēma** | **Koeficienta c vērtība** | |
| **alumīnija vadiem** | **vara vadiem** |
| 380/220 | Četrvadu (3 fāzes + nullvads) | 50 (44) | 83 (72,4) |
|  | Trīsvadu (2 fāzes + nullvads) | 22 (19,6) | 37 (32,1) |
|  | Divvadu (1 fāze + nullvads) | 8,3 (7,4) | 14 (12,1) |
| 380 | Trīsvadu (3 fāzes + bez nullvada) | 50 | 83 |
| 220/127 | Četrvadu (3 fāzes + nullvads) | 16,5 | 28 |
|  | Trīsvadu (2 fāzes + nullvads) | 7,3 | 12,2 |
|  | Divvadu (1 fāze + nullvads) | 2,8 | 4,6 |
| 3 x 220 | Trīsvadu (3 fāzes) | 16,5 | 28 |
| 2 x 220 | Divvadu (2 fāzes) | 8,3 | 14 |
| 3 x 127 | Trīsvadu (3 fāzes) | 5,6 | 9,2 |
| 2 x 127 | Divvadu (2 fāzes) | 2,8 | 4,6 |
| 3 x 40 | Trīsvadu (3 fāzes) | 0,44 | 0,74 |
| 2 x 40 | Divvadu (2 fāzes) | 0,22 (0,244) | 0,37 (0,4) |
| 3 x 12 | Trīsvadu (3 fāzes) | 0,025 | 0,082 |
| 2 x 12 | Divvadu (2 fāzes) | 0,0125 (0,022) | 0,041 (0,036) |

Ja šķērsgriezums ir zināms, sprieguma zudumu (%) aprēķina pēc formulas

 (4.65)

Reizinājumu *Pal* sauc par slodzes momentu un apzīmē ar burtu *M*. Līdz ar to izteiksmes

 un  (4.66)

pārveidojas šādi:

 un  (4.67)

Lai vienkāršotu apgaismošanas tīklu aprēķinus, izmanto tabu­las, kuras dots īpatnējais sprieguma zudums (%), kas attieci­nāts uz slodzes momenta 1 kW∙m (sk. P.2.30…P.2.33. tabulas).

Saskaņā ar elektroietaišu izbūves noteikumiem vadu un kabeļu minimālie šķērsgriezumi jāizvēlas ne mazāki par 4.34. tabulā uzrādītajiem lielumiem.

4.34. tabula

**Vadu un kabeļu strāvu vadošo dzīslu minimālie šķērsgriezumi**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Vadi un kabeli | Minimālie dzīslu  šķērsgriezumi (mm2) | |
| vara | alumīnija |
| Auklas sadzīves elektroenerģijas patērētāju pievienošanai  Kabeļi pārvietojamu un pārnesamu patērētāju pievienošanai rūpniecības ietaisēs  Divdzīslu vītie vadi instalēšanai uz rullīšiem  Neaizsargāti izolēti vadi stacionārai instalācijai telpu iekš­pusē:  a) tieši uz pamata, uz rullīšiem, ar saturplāksnēm un trosēm  b) renēs, kārbās (izņemot slēgtās):  ar dzīslām, ko pievieno ar skrūvēm  ar dzīslām, ko pievieno lodējot:  — viendzīslas  — daudzdzīslu (lokanās)  c) uz izolatoriem  Neaizsargāti izolēti vadi ārējai instalācijai:  a) pa sienām, konstrukcijām vai balstiem uz izolatoriem; ēku ievados  b) zem jumta uz rullīšiem  Neaizsargāti un aizsargāti vadi un kabeļi, kas ievietoti tē­rauda vai lokanās metāla caurulēs, slēgtās kārbās  Kabeļi un aizsargāti izolēti vadi, kas montēti stacionāri (bez caurulēm, lokanām caurulēm un slēgtām kārbām):  ardzīslām, ko pievieno ar skrūvi  ar dzīslām, ko pievieno lodējot:  viendzīslas  daudzdzīslu (lokanie)  Aizsargāti un neaizsargāti vadi un kabeļi slēgtos kanālos vai celtniecības konstrukcijās, zem apmetuma | 0,35  0,75  1  1  1  0,5  0,35  1,5  2,5  1,5  1  1  0,5  0,35  1 | 2,5  2,0  4  4  2,5  2,0  2,0  2,0 |

Slodzes momenta M aprēķina metode ir atkarīga no apgaismes tīkla konfigurācijas.

Visvienkāršākajā gadījumā (4.16. att. *a*), kad slodze ir tikai līnijas beigas, moments ir slodzes reizinājums ar tīkla posma garumu

*M = Pa·L*, (4.68)

Ja slodze sadalās nevienmērīgi līnijas garumā (4.16. att. *b*), tad slodzes momentu var aprēķināt pēc formulas

*M = L*·(*P*1 + *P*2 + *P*3) + *L*1·(*P*2 + *P*3) + *L*2·*P*3. (4.69)

Vienmērīgas slodzes gadījumā (4.16. att. c) aprēķinam var izmantot formulu

, (4.70 )

kur *L* – apgaismes tīkla posma garums no grupu sadalnes līdz pirmā apgaismes ķermeņa rindā, m.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |

4.16. att. Apgaismes tīkla konfigurācija: *a* – vienkārša ķēde; *b* – ķēde ar nevienmērīgu slodzes

sadalījumu; *c* – ķēde ar vienmērīgu slodzes sadalījumu

***4.20. piemērs.*** Trīsfāzu līnijā ar vadu garumu 120 m un slodze 18 kW (4.16. att. *a*) pieļaujamais sprieguma zudums ir 1,4 %. Noteikt nepieciešama alumīnija vada šķērsgriezumu.

Atrisinājums.

1. Pēc formulas (4.64)



Tuvākais standarta šķērsgriezuma vads sastāda 35 mm2.

2. Ja līnijas vads izgatavots no vara, tad nepieciešamai vada šķērsgriezums



Tuvākais standarta šķērsgriezuma vads sastāda 25 mm2.

3. Lai vienkāršotu aprēķinus izmanto momentu tabulas, kuras dažādām *S* un Δ*U* doti atbilstoša momenta vērtības.

Iepriekšējam piemēram ar alumīnija vadu līnijas slodzes moments *M = P∙l* = 18∙120 = 2160 kW∙m. No 4.43. tabulas sprieguma kritumam Δ*U* = 1,4 % atrodam slodzes momentu *M* = 2156 kW∙m, jo tāds slodzes moments ir vistuvākais momentam 2160 kW∙m, un vada šķērsgriezumu *S* = 35 mm2.

***4.21. piemērs.*** Noteikt slodzes momentu apgaismes grupu līnijai (4.17. att.) un izvēlēt *Al* vada šķērsgriezumu, ja pieļaujamais sprieguma zudums no grupu sadalei sastāda Δ*UР* = 2,5%. Vada šķērsgriezums nemainās visā līnijas garumā.

|  |
| --- |
| 4.17. att. Shēma 4.21. piemēram |

*Atrisinājums.* Slodzes moments

*M = l*1·(*P*1 + *P*2 + *P*3) + *l*2·(*P*2 + *P*3) + *l*3·*P*3 =

= 25 (1000 + 1000 + 1000) +12 (1000 +1000) + 6 ·1000 = 75 + 24 + 6 = 105 kW·m.

2. Vada šķērsgriezums



3. Tuvākais standarta šķērsgriezums atbilstoši vada materiāla mehāniskai stiprībai (4.34. tab.) un pieļaujamai silšanai ir 2,5 mm2, tātad *Sfakt* = 2,5 mm2.

***4.22. piemērs.*** Četrvadu līnija 380/220 V baro grupas apgaismes sadales Nr.1 un Nr.2 (4.18. att.). Pie apgaismes sadalei Nr.1 pieslēgti patērētāji ar kopējo jaudu 17 kW, bet pie sadale Nr.2 – ar jaudu 10 kW. Sprieguma kritums līdz grupu sadalei Nr.2 nevar pārsniegt 2,2 %. Aprēķināt nepieciešamo līnijas vadu šķērsgriezumu atsevišķi posmam 0-1 un 1-2, ja vada materiāls ir alumīnijs.

|  |
| --- |
| 4.18. att. Piemērs apgaismes tīkla aprēķinam uz sprieguma kritumu |

Aprēķins.

1. Slodzes moments tikla posmam 0-1 līdz apgaismes sadalei Nr.1:

*M*1 = *l*1∙(*P*1 + *P*2) = 140·(17 + 10) = 3780 kW∙m

un tīkla posmam 1-2 no pirmās apgaismes sadales līdz otrai

*M*2 = *l*2∙*P*2 = 60∙10 = 600 kW∙m.

Summārais moments

*M = M*1 + *M*2 = 3780 + 600 = 4380 kW∙m.

2. Pēc 4.43. tabulas datiem tuvākais vada šķērsgriezums tīkla posmam 0-1 ir vienāds ar *S*1 = 50 mm2, bet sprieguma kritums



2. Sprieguma kritums posma 1-2

Δ*U*2 = Δ*U* – Δ*U*1 = 2,2 – 1,51 = 0,69 %.

Vada šķērsgriezums



Tuvākais standarta skalas šķērsgriezums ir 25 mm2.

Faktiskais sprieguma zudums posma 1-2



Sprieguma zudums posma 0-2

Δ*U* = Δ*U*1 + Δ*U*2 = 1,51 + 0,48 = 1,99 %.

Analogi var aprēķināt arī sazarotas elektriskās tīklos

***4.23. piemērs.*** Aprēķināt vienfāzes grupas tīklu (4.19. att.) uz sprieguma kritumu. Tīkls izgatavots no alumīnija vadiem, tīkla nominālais spriegums 220 V, katras lampās jauda ir 200 W, pieļaujamais sprieguma kritums 2,4 %.

|  |
| --- |
| 4.19. att. Shēma grupu tīkla aprēķinam uz sprieguma kritumu |

Risinājums.

Atrodam summāro slodzes momentu līdz vistālākajai lampai 1:

*M* = *l*1∙(*P*1 + *P*2 + *P*3) + *l*2∙(*P*2 + *P*3) + *l*3*P*3 = 40(0,6 + 0,6 + 0,6) + 12(0,6 + 0,6) +

+ 24∙0,6 = 101 kW∙m.

Šeit par sazarotā posma 3 līnijas garumu *l*3 pieņemts līnijas garums līdz posma 3 slodzes momenta centram, kurš atrodas uz lampas 2.

Vada šķērsgriezums



Tuvākais standarts skalas šķērsgriezums ir 6 mm2.

No 4.42. tabulas sprieguma kritumam Δ*U* = 2,4 % atbilst slodzes moments *M* = 107 kW∙m, kas ir vistuvākais aprēķinātam slodzes momentam 101 kW∙m, un vada šķērsgriezumam *S* = 6 mm2.

Ja elektroenerģijas patērētāju skaits līnijā ir liels kopējais slodzes moments var noteikt ka atsevišķo momentu summu.

**4.12. APGAISMES TĪKLA APRĒĶINS UZ MINIMĀLO VADU**

**MATERIĀLA PATERIŅU**

Šajā gadījumā katrs apgaismes tīkla posms aprēķina pēc reducēto slodzes momenta.

Reducēto jaudas momentu *Mred* aprēķina šādi:

 (4.71)

kur *pili* — *i*-tā maģistrālās līnijas posma caurplūstošās jaudas pi un posma garuma *li* reizinājums;

*mj* — j-tā nozarojuma jaudas un nozarojuma garuma reizinājums;

*αj* — koeficients, ar kuru reducē nozarojuma (ar dažādu vadu skaitu) jaudas momentu uz maģistrā­lās līnijas jaudas momentu (sk. 4.35. tab.).

Aprēķina uzdevums ir noteikt vadu un kabeļu minimālos šķērsgriezumus pēc pieļaujamās slodzes strāvas ietekmē un pārbaudīt pēc pieļaujamā sprieguma zuduma.

***4.24. piemērs.*** Tīkla shēma paradīta 4.20. attēlā. Par barojošo tīklu izmanto trīsfāžu tīklu 380/220 V, grupu tīkli ir vienfāzes. Grupu līnijās patērētāju jaudas ir vienādās un sastāda 2 kW. Pilnais sprieguma kritums 4 %. Aprēķināt vadu šķērsgriezumu atbilstoši minimāla vada materiāla patēriņam.

4.35. tabula

**Koeficients α nozarojuma jaudas momentu reducēšanai**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Maģistrāle | Nozarojums | α |
| Trīsfāžu ar nullvadu | Vienfāzes | 1,85 |
| Trīsfāžu ar nullvadu | Divfāžu ar nullvadu | 1,37 |
| Divfāžu ar nullvadu | Vienfāzes | 1,33 |
| Trīsfāžu bez nullvada | Divfāžu | 1,15 |
| Trīsfāžu ar nullvadu | Trīsfāžu ar nullvadu | 1,00 |

Atrisinājums.

Pilnā tīkla slodze *P* = *P*1 + *P*2 + *P*3 + *P*4 + *P*5 + *P*6 = 12 kW.

Pilnais reducētais slodzes moments



|  |  |
| --- | --- |
|  | 4.20. att. Shēma 4.24. piemēram |

Vada šķērsgriezums pirmajā barošanas posmā



Tātad vada šķērsgriezums pirmā barojoša posmā ir S = 16 mm2 un sprieguma kritums šajā posmā ir



Pirmā grupu līnija ir vienfāzes līnija ar slodzes momentu katrā vienfāzes līnijā:

*MGr*1 = *P*1∙*l*2 = *P*2∙*l*2 = *P*3∙*l*2 = 2∙20 = 40 kW∙m.

Sprieguma kritums grupu līnijā

Δ*UGr*1 = ΔU – Δ*U*1 = 4 - 1,8 = 2,2 %.

Grupu līnijas vadu šķērsgriezumi



Vada šķērsgriezums *SGr*1 = 2,5 mm2.

Faktiskais sprieguma kritums



Otrā barojoša tīkla vadu šķērsgriezumu varam aprēķināt izejot no sprieguma krituma

Δ*U*2 = Δ*U* – Δ*UGr*1 = 4 - 1,93 = 2,07 %.

un slodzes momenta

*M*2 = *M* – *P∙l*1 – *α*(*P*1 + *P*2 + *P*3)*l*2 = 2424 – 120∙12 – 1,85∙6∙20 =

= 2424 – 1440 – 222 = 762 kW∙m.

Vada šķērsgriezums



Vada šķērsgriezums 10 mm2 un faktiskais sprieguma kritums otrā barojoša posmā



Otrai grupu līnijai sprieguma kritums sastāda

Δ*UGr*2 = Δ*U* – Δ*U*2 - Δ*UGr*1 = 4 - 1,52 – 1,93 = 0,55 %.

un vada šķērsgriezums (*MGR2 = MGr1*)



Par faktisko vadu šķērsgriezuma varam izvēlēt vadu ar *SGr*2 = 10 mm2.

**4.13. PIEĻAUJAMIE SPRIEGUMA ZUDUMI APGAISMES TĪKLOS**

**ATKARĪBA NO SLODZES JAUDAS UN TRANSFORMATORA**

**NOSLODZES**

Apgaismošanas tīklu slodzes rada sprieguma zudumus trans­formatorā, kas baro šo tīklu. Šie zudumi ir atkarīgi no transfor­matora jaudas, noslodzes pakāpes un slodzes jaudas koeficienta(cos*φ*). Pieļaujamais sprieguma zudums apgaismes elektriskajā tīklā, t.i. sprieguma zudums no barošanas avota (spriegums uz apakšstacijas kopnēm 0,4 kV) līdz vistālākajai spuldzei rindā, var aprēķināt pēc formulas

Δ*Upieļ* = 105 – *Umin* – Δ*UT*, (4.72)

kur 105 – spriegums transformatora zemsprieguma puse tukšgaitā, %; *Umin* – minimālais pieļaujamais spriegums uz spuldzes spailēm, %; Δ*UT* – reducētais sprieguma kritums transformatorā pret nominālo sekundāro spriegumu, kas ir atkarīgs no transformatora noslodzes β un jaudas koeficienta cos*φ*, %. Sprieguma zudumi *Umin* rūpniecības uzņēmumu un sabiedrisko ēku iekšējai darba apgaismošanai un ārējās apgaismošanas prožektoru iekārtam sastāda *Umin* = 97,5 %. Dzīvojamo māju, avārijas apgaismošanai un ārējai apgaismošanai ar gaismekļiem pieļaujamie sprieguma zudumi palielinās par 2,5% (*Umin* = 95 %).

Pieļaujamie sprieguma zudumi apgaismošanas tīklos atkarībā no slodzes jaudas un transformatoru noslodzes doti 4.36. tabulā vai pēc formulas

Δ*UT = β(Ua·cosφ + Up·sinφ),* (4.73)

kur *β* – transformatora noslodzes koeficients; *Ua* un *Up* – transformatora īsslēguma sprieguma aktīvā un reaktīvā komponente, kuru var aprēķināt pēc formulas

 (4.74)

kur *Pk* – transformatora īsslēguma spriegums, kW; *SN* – transformatora nominālā jauda, kVA; *Uk* - transformatora īsslēguma spriegums, %. *Pk* un *Uk* var noteikt pēc 4.37. tab.

4.36. tabula

**Sprieguma zudumi transformatorā**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Transforma­tora  jauda, kV∙A | Pieļaujamais sprieguma zudums (%)transformatoros, kas baro spēka un apgaismošanas patērētājus, atkarībā no jaudas koeficienta (cosφ) vērtības, ja noslodzes koeficients *β* = 1\* | | | | | |
| 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 |
| 160 | 1,7 | 3,3 | 3,8 | 4,1 | 4,3 | 4,4 |
| 250 | 1,5 | 3,2 | 3,7 | 4,1 | 4,3 | 4,4 |
| 400 | 1,4 | 3,1 | 3,7 | 4,0 | 4,2 | 4,4 |
| 630 | 1,2 | 3,4 | 4,1 | 4,6 | 4,9 | 5,2 |
| 1000 | 1,1 | 3,3 | 4,1 | 4,6 | 5,0 | 5,2 |
| 1600, 2500 | 1,0 | 3,3 | 4,1 | 4,5 | 4,9 | 5,2 |

\* lai noteiktu faktisko **Δ*UT*** jāpareizina datus no tabula ar faktisko noslodzes koeficientu *β*.

4.37. tabula

**Transformatora īsslēguma zudumi *Pk* un īsslēguma spriegums *Uk***

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Transforma­tora**  **jauda, kV∙A** | **160** | **250** | **400** | **630** | **1000** | **1600** | **2500** |
| *PK*, % | 2,65 | 3,7 | 5,5 | 7,6 | 11,6 | 16,5 | 23,5 |
| *UK*, % | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |

***4.25. piemērs.*** Noteikt atklāti instalēta kabeļa alumīnija dzīslas šķērsgriezumu posmā no apakšstacijas kopnēm līdz sadalei 1 un pēc tam no sadale 1 līdz grupu sadalei 2 (4.21. att.). Apakšstacijas transformatora jauda 250 kVA, jaudas koeficients cos*φ* = 0,8, noslodzes koeficients *β* = 0,9, līnijas nominālais spriegums *UN* = 380 V.

*Atrisinājums.* 1.Pēc 4.36. tabulas pieņemam kopējo pieļaujamo sprieguma zudumu transformatorā Δ*U*T = 3,7%.

Faktiskais sprieguma zudums transformatora

Δ*U*Tfakt = Δ*U*T ·*β* = 3,7·0,9 = 3,33 %.

2. Aprēķināsim kopējo pieļaujamo sprieguma zudumu apgaismošanas tīklā

Δ*U*p = 105 – *Umin* - Δ*U*Tfakt = 105 - 95 – 3,33 = 6,67 %.

|  |
| --- |
| 4.21. att. Shēma 4.25. piemēram |

3. Noteiksim slodzes momenti elektriskajā tīklā:

*M*1 = *L*1·(*P*1 + *P*2 + *P*3 + *P*4 + *P*5) = 50·(6 + 6 + 6 +0,6 + 0,6) = 960 kW·m;

*M*2 = *L*2·( *P*1 + *P*2 + *P*3 + *P*4 + *P*5) = 12·(6 + 6 + 6 +0,6 + 0,6) = 230,4 kW·m;

*M*3 = *L*3· *P*3 = 6·6 = 36 kW·m;

*M*4 = *L*4· *P*4 = 6·6 = 36 kW·m;

*M*5 = *L*5· *P*5 = 6·6 = 36 kW·m;

*m*6 = *m*7 = 6·0,6 = 3,6 kW·m.

Reducētais moments posmā 0-1 ar līnijas garumu *L*1:

*MRL*1 = *M*1 + *M*2 + *M*3 + *M*4 + *M*5 + *α*(*m*6 + *m*7 ) =

= 960 + 230,4 + 36 + 36 + 36 + 1,85(3,6 + 3,6) = 1311,7 kW·m.

4. Aprēķināsim kabeļa dzīslas šķērsgriezumu posmā 0-1 ar līnijas garumu *L*1:



Tātad kabeļa dzīslas šķērsgriezumu posmā 0-1 ar līnijas garumu *L*1 varam pieņemt ka 5 x 10 mm2.

Strāvas stiprums barošanas līnijā posmā 0-1



kur *UN*= 380 V (tīkla nominālais spriegums).

Pēc tabulas (4.39. tabula) atrodam pieļaujamo slodzes strāvu, kas alumīnija kabelim ar gumijas un plastmasas izolāciju un alumīnija dzīslu šķērsgriezumu 10 mm2, liekot kabeli atklāti, ir *Ipieļ* = 42 A (*IL*1 *Ipieļ* = 42 A < *Ipieļ*). Tātad šķērs­griezums 10 mm2 ir pietiekams. Kabelim ar dzīslu šķērsgriezumu 6 mm2 *Ipieļ* = 32 A.

5. Faktiskais sprieguma zudums posmā 0-1 ar līnijas garumu *L*1:



6. Pieļaujamais sprieguma zudums posmā 1-2 ar līnijas garumu *L*2:

Δ*U*2 = Δ*Up* – Δ*Uf*1 = 6,3 – 1,92 = 4,75 %.

7. Reducētais moments posmā 1-2 ar līnijas garumu *L*2:

*MRL*2 = *M*2 + *M*3 + *M*4 + *M*5 + *α·*(*m*6 + *m*7 ) =

= 230,4 + 36 + 36 + 36 + 1,85(3,6 + 3,6) = 351,72 kW·m.

8. Aprēķināsim kabeļa dzīslas šķērsgriezumu posmā 1-2 ar līnijas garumu *L*2:



Tātad kabeļa dzīslas šķērsgriezumu posmā 1-2 ar līnijas garumu *L*2 varam pieņemt ka 5 x 10 mm2, jo strāvas stiprums barošanas līnijā



Pēc tabulas (4.39. tabula) atrodam pieļaujamo slodzes strāvu, kas alumīnija kabelim ar gumijas un plastmasas izolāciju un alumīnija dzīslu šķērsgriezumu 10 mm2, liekot kabeli atklāti, ir 42 A(*IL*2 < *Ipieļ*). Tātad šķērs­griezums 10 mm2 ir pietiekams. Šķērsgriezumiem 2,5 mm2, 4 mm2 un 6 mm2 atbilst ilgstoši pieļaujamas strāvas 19 A, 27 A un 32 A. Tādus kabeļus nevar izmantot no silšanas viedokļa.

9. Faktiskais sprieguma zudums posmā 1-2 ar līnijas garumu *L*2:



10. Pieļaujamais sprieguma zudums grupu līnijā pēc sadales 2:

Δ*UGr* = Δ*U*2 – Δ*Uf*2 = 4,74 – 0,46 = 4,29 %.

***4.26. Piemērs.*** No apakšstacijas transformatora (4.22 att.), kura jauda ir 400 kV∙A un spriegums 400/230 V, līdz ražošanas telpai ar luminiscences spul­džu apgaismojumu jāliek 150 m garš alumīnija markas kabelis. Spuldžu kopējā jauda — 25 kW, jaudas koeficients tīklā cos*φ =* 0,9, transformatora noslodzes koeficients β = 1. Noteikt nepieciešamo kabeļa šķērs­griezumu.

Atrisinājums.

1.Pēc 4.36. tabulas pieņemam kopējo pieļaujamo sprieguma zudumu transformatorā Δ*U*T = 3,7%.

|  |
| --- |
|  |

4.22. att. Shēma 4.26. piemēram

2. Aprēķināsim kopējo pieļaujamo sprieguma zudumu apgaismošanas tīklā

Δ*U*p = 105 – 97,5 – 3,7 = 4,4 %.

3. Apgaismošanas slodzes aprēķina jauda, ievērojot jaudas zudumus palaišanas un regulēšanas aparātos

*Pa* = l,2∙*K*∙*Pu* = l,2∙1·25 = 30 kW.

4. Kabeļa dzīslas šķērsgriezumu aprēķina pēc formulas



kur c = 50 (sk. 4.33. tabulu; alumīnija vadiem). Pieņem tuvāko stan­darta šķērsgriezumu S = 50 mm2.

Tālāk jāveic šādi pārbaudes aprēķini.

1. *Atbilstība pieļaujamajai slodzes strāvai*. Strāvas stiprums barošanas līnijā



kur *Ut*= 380 V (tīkla spriegums); cos *φ* = 0,9 (luminiscences spul­dzēm).

Pēc tabulas (4.39. tabula) atrodam pieļaujamo slodzes strāvu, kas trīsdzīslu kabelim ar gumijas un plastmasas izolāciju un alumīnija dzīslu šķērsgriezumu 50 mm2, liekot kabeli atklāti, ir 110 A. Tātad šķērs­griezums 50 mm2 ir pietiekams.

2. *Atbilstība faktiskajam sprieguma zudumam*. Tā kā pēc 4.33. ta­bulas izraudzītais koeficients *c* = 50 ir aptuvens un ievērojot to, ka šķērsgriezums 50 mm2 ir lielāks par aprēķināto (48,8 mm2), jānosaka faktiskais sprieguma zudums barošanas līnijā. Šim nolūkam izmanto tabulu (4.41. tabula).

Barošanas līnijas slodzes moments



Pēc tabulas (4.41. tabula) atrod īpatnējo sprieguma zudumu, kas alumīnija dzīslu kabelim ar šķērsgriezumu 50 mm2, ja spriegums ir 380 V un cos*φ* = 0,9, ir Δ*Uīpatn.* = 0,464 %/kW·km.

Tātad faktiskais sprieguma zudums barošanas līnijā

Δ *Ub.līn.* = Δ*Uīpatn.*· *M* = 0,464∙4,5 = 2,08 %.

3. *Atbilstība pēc sprieguma uz vistālākās spuldzes*. Saskaņā ar pastāvošajām normām spriegums uz vistālākajām spuldzēm ražošanas telpās nedrīkst samazināties vairāk par 2,5% no nominālā.

Mūsu gadījumā pieļaujamais sprieguma zudums Δ*UP* = 4,4 % un spriegums barošanas līnijā Δ*Ub.līn.* = 2,08 %. Tātad faktiskais sprieguma zudums uz vistālākajām spuldzēm ir *Utal.sp*. = Δ*UP* - Δ*Ub.līn*. = 4,4 – 2,08 = 2,32 %, kas mazāks par pieļaujama sprieguma zudumu uz vistālākajām spuldzēm ražošanas telpā (2,32 % < 2,5 %).

Ja nav zināma ēkas ievada maksimālā jauda, to var aprēķināt pēc formulas

*Pmax = p∙S∙K*, (4.75)

kur *p* — ēku īpatnējā apgaismošanas slodze (W/m2). To nosaka pēc 4.38. tabulas.

*S* — ēkas aizņemtais laukums (m2);

*K* — koeficients *Kd* vai *Kv* (atkarībā no tā, kad ir maksimālā slodze — dienā vai vakarā – sk. 4.7. tab.).

4.38. tabula

**Ēku īpatnējā apgaismošanas slodze**

|  |  |
| --- | --- |
| **Ēkas nosaukums** | ***P*, W/m2** |
| Mehāniskā darbnīca un kokapstrādes darbnīca | 12 |
| Dzirnavas | 14 |
| Garāža | 11 |
| Kantoris, kabineti | 16 |
| Veikals, ēdnīca | 21 |
| Bērnudārzs | 24 |
| Skola | 30 |
| Klubs | 27 |
| Bibliotēka | 17 |
| Pirts | 33 |
| Sakņu noliktava | 3 |
| Govju ferma, kur slaukšana notiek slaukšanas zālēs | 4 |
| Govju ferma, kur slaukšana notiek stāvvietās | 4,5 |
| Teļu ferma | 3,75 |
| Nobarojamo dzīvnieku telpa | 2,6 |
| Aitu ferma | 3,5 |
| Putnu ferma | 4 |
| Putnu ferma, kur putnus tur sprostos | 5 |
| Zirgu ferma | 2,3 |

Ārējam apgaismojumam aprēķina slodze uz vienu ielas garuma metru ir 2 W, ja ielas platums nepārsniedz 20 m un braucamās daļas platums nepārsniedz 10 m.

4.39. tabula

**Bruņoti un nebruņoti kabeļi ar alumīnija dzīslām un gumijas izolāciju**

**polivinilhlorīda un nedegošas gumijas apvalkos**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Dzīslas**  **šķērsgriezums,**  **mm2** | **Ilgstoši pieļaujamā strāva (A), ja apkārtējas vides temperatūra 25 °C** | | | | |
| **vadi un kabeli** | | | | |
| **viendzīslas**  **gaisā** | **divdzīslu** | | **trīsdzīslu** | |
| **gaisā** | **zemē** | **gaisā** | **zemē** |
| 2,5 | 23 | 21 | 34 | 19 | 29 |
| 4 | 31 | 29 | 42 | 27 | 38 |
| 6 | 38 | 38 | 55 | 32 | 46 |
| 10 | 60 | 55 | 80 | 42 | 70 |
| 16 | 75 | 70 | 105 | 60 | 90 |
| 25 | 105 | 90 | 135 | 75 | 115 |
| 35 | 130 | 105 | 160 | 90 | 140 |
| 50 | 165 | 135 | 205 | 110 | 175 |
| 70 | 210 | 165 | 245 | 140 | 210 |
| 95 | 250 | 200 | 295 | 170 | 255 |
| 120 | 295 | 230 | 340 | 200 | 295 |
| 150 | 340 | 270 | 390 | 235 | 335 |
| 185 | 390 | 310 | 440 | 270 | 385 |
| 240 | 465 | — | — |  | — |

*Piezīme. Č*etrdzīslu plastmasas izolācijas kabeļiem ar spriegumu līdz 1000 V 6. pielikumā dotās ilgstoši pieļaujamas strāvu vērtības jāreizina ar koeficientu 0,92.

4.41. tabula

**380 V trīsfāzu kabeļu līnijas īpatnējie sprieguma zudumi, [%/(kW∙km)]**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kabeļa**  **šķērsgriezums, mm2** | **Jaudas koeficients (cos φ)** | | | | | | | |
| **0,7** | | **0,8** | | **0,9** | | **1,0** | |
| **varš** | **alumīnijs** | **varš** | **alumīnijs** | **varš** | **alumīnijs** | **varš** | **alumīnijs** |
| **4**  **6**  **10**  **16**  **25**  **35**  **50**  **70**  **95**  **120**  **150**  **185**  **240** | 3,29  2,18  1,33  0,879  0,559  0,419  0,314  0,240  0,181  0,152  0,127  0,113  0,100 | 5,61  3,75  2,27  1,42  0,933  0,632  0,487  0,363  0,277  0,230  0,187  0,160  0,133 | 3,27  2,16  1,32  0,866  0,546  0,407  0,302  0,228  0,169  0,140  0,116  0,102  0,085 | 5,59  3,73  2,26  1,41  0,920  0,670  0,475  0,351  0,266  0,218  0,176  0,149  0,122 | 3,25  2,15  1,30  0,853  0,534  0,395  0,291  0,216  0,158  0,129  0,105  0,091  0,074 | 5,57  3,72  2,24  1,39  0,908  0,658  0,464  0,339  0,255  0,207  0,165  0,138  0,111 | 3,22  2,12  1,26  0,831  0,512  0,374  0,270  0,196  0,138  0,109  0,085  0,071  0,054 | 5,54  3,69  2,22  1,37  0,886  0,637  0,443  0,319  0,235  0,187  0,145  0,118  0,092 |

4.42. tabula

**Slodzes momenti alumīnija vadītājiem, kW·m**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ΔU,**  **%** | **Divvadu līnija (1L + 1N) uz**  **spriegumu 220 V** | | | | | | | | | | | | **Trīsvadu divfāzu līnija (2L +1N) uz**  **spriegumu 380/220 V** | | | | | | | | | | | | | |
| **ja vadītāja šķērsgriezums S, mm2 vienāds ar** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **2,5** | | **4** | | **6** | | **10** | | **16** | | **25** | | **2,5** | | **4** | | **6** | | **10** | | **16** | | **25** | | **35** | |
| **0,2** | 4 | | 6 | | 9 | | 15 | | 24 | | 37 | | 10 | | 16 | | 23 | | 39 | | 62 | | 97 | | 136 | |
| **0,4** | 7 | | 12 | | 18 | | 30 | | 47 | | 74 | | 19 | | 31 | | 45 | | 78 | | 125 | | 195 | | 273 | |
| **0,6** | 11 | | 18 | | 27 | | 44 | | 71 | | 101 | | 29 | | 47 | | 67 | | 117 | | 187 | | 292 | | 409 | |
| **0,8** | 15 | | 24 | | 35 | | 59 | | 95 | | 148 | | 39 | | 62 | | 91 | | 156 | | 250 | | 390 | | 546 | |
| **1** | 18 | | 30 | | 44 | | 74 | | 118 | | 185 | | 49 | | 78 | | 117 | | 195 | | 312 | | 487 | | 682 | |
| **1,2** | 22 | | 36 | | 53 | | 89 | | 142 | | 222 | | 58 | | 94 | | 140 | | 234 | | 374 | | 585 | | 819 | |
| **1,4** | 25 | | 41 | | 62 | | 104 | | 166 | | 259 | | 68 | | 109 | | 162 | | 273 | | 437 | | 682 | | 955 | |
| **1,6** | 30 | | 17 | | 71 | | 118 | | 189 | | 296 | | 78 | | 125 | | 181 | | 312 | | 499 | | 780 | | 1092 | |
| **1,8** | 33 | | 53 | | 80 | | 133 | | 213 | | 333 | | 88 | | 140 | | 211 | | 351 | | 562 | | 877 | | 1228 | |
| **2** | 37 | | 59 | | 89 | | 148 | | 237 | | 370 | | 97 | | 156 | | 231 | | 390 | | 624 | | 975 | | 1365 | |
| **2,2** | 41 | | 65 | | 98 | | 163 | | 260 | | 407 | | 107 | | 172 | | 257 | | 429 | | 686 | | 1072 | | 1501 | |
| **2,4** | 44 | | 71 | | 107 | | 178 | | 284 | | 444 | | 117 | | 187 | | 279 | | 468 | | 749 | | 1170 | | 1633 | |
| **2,6** | 48 | | 77 | | 115 | | 192 | | 308 | | 481 | | 127 | | 203 | | 301 | | 507 | | 811 | | 1267 | | 1774 | |
| **2,8** | 52 | 83 | | 121 | | 207 | | 331 | | 518 | | 136 | | 218 | | 325 | | 546 | | 874 | | 1365 | | 1911 | |
| **3** | 55 | 89 | | 133 | | 221 | | 355 | | 555 | | 146 | | 234 | | 351 | | 585 | | 936 | | 1162 | | 2047 | |
| **3,2** | 59 | 95 | | 142 | | 236 | | 379 | | 592 | | 156 | | 250 | | 374 | | 624 | | 998 | | 1560 | | 2184 | |
| **3,4** | 63 | 101 | | 151 | | 251 | | 403 | | 629 | | 166 | | 265 | | 396 | | 663 | | 1061 | | 1657 | | 2320 | |
| **3,6** | 67 | 107 | | 160 | | 265 | | 426 | | 666 | | 175 | | 281 | | 418 | | 702 | | 1123 | | 1755 | | 2457 | |
| **3,8** | 70 | 112 | | 169 | | 280 | | 450 | | 703 | | 185 | | 296 | | 445 | | 741 | | 1186 | | 1852 | | 2593 | |
| **4** | 74 | 118 | | 178 | | 296 | | 474 | | 740 | | 195 | | 312 | | 468 | | 780 | | 1248 | | 1950 | | 2730 | |
| **4,2** | 78 | 124 | | 186 | | 311 | | 497 | | 777 | | 205 | | 328 | | 491 | | 819 | | 1310 | | 2047 | | 2866 | |
| **4,4** | 81 | 130 | | 195 | | 326 | | 521 | | 814 | | 214 | | 343 | | 513 | | 858 | | 1373 | | 2145 | | 3003 | |
| **4,6** | 85 | 136 | | 201 | | 340 | | 545 | | 851 | | 224 | | 359 | | 535 | | 897 | | 1435 | | 2242 | | 3139 | |
| **4,8** | 89 | 142 | | 213 | | 355 | | 568 | | 888 | | 234 | | 374 | | 562 | | 936 | | 1498 | | 2340 | | 3276 | |
| **5** | 92 | 148 | | 222 | | 370 | | 592 | | 925 | | 214 | | 390 | | 585 | | 975 | | 1560 | | 2137 | | 3112 | |

4.43. tabula

**Slodzes momenti alumīnija vadītājiem**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ΔU, %** | **Slodzes moments, kW·m, četrvadu līnijai (3L + 1N) uz spriegumu 380/220 V**  **un trīsvadu līnijai (3L) uz spriegumu 380 V, ja vadītāja šķērsgriezums S, mm2**  **vienāds ar** | | | | | | | | | | | | | | | |
| **2,5** | **4** | **6** | **10** | **16** | **25** | **35** | **50** | **70** | **95** | | **120** | **150** | **185** | | **240** |
| **0,2** | 22 | 35 | 53 | 88 | 141 | 220 | 308 | 440 | 616 | 836 | | 1056 | 1320 | 1628 | | 2112 |
| **0,4** | 44 | 70 | 106 | 176 | 282 | 440 | 616 | 880 | 1232 | 1672 | | 2112 | 2640 | 3256 | | 4224 |
| **0,6** | 66 | 106 | 158 | 264 | 422 | 660 | 924 | 1320 | 1848 | 2508 | | 3168 | 3960 | 4884 | | 6336 |
| **0,8** | 88 | 141 | 211 | 352 | 563 | 880 | 1232 | 1760 | 2464 | 3341 | | 4224 | 5280 | 6512 | | 8448 |
| **1** | 110 | 176 | 264 | 440 | 704 | 1100 | 1540 | 2200 | 3080 | 4180 | | 5280 | 6600 | 8140 | | 10560 |
| **1,2** | 132 | 211 | 317 | 528 | 845 | 1320 | 1848 | 2640 | 3696 | 5016 | | 6336 | 7920 | 9768 | | 12672 |
| **1.4** | 154 | 246 | 370 | 616 | 986 | 1540 | 2156 | 3080 | 4312 | 5852 | | 7392 | 9240 | 11396 | | 14784 |
| **1.6** | 176 | 282 | 422 | 704 | 1126 | 1760 | 2464 | 3520 | 4928 | 6688 | | 8448 | 10560 | 13024 | | 16896 |
| **1,8** | 198 | 317 | 475 | 792 | 1267 | 1980 | 2772 | 3960 | 5544 | 7524 | | 9504 | 11880 | 14652 | | 19008 |
| **2** | 220 | 352 | 528 | 880 | 1408 | 2200 | 3080 | 4400 | 6160 | 8360 | | 10560 | 13200 | 16280 | | 21120 |
| **2.2** | 242 | 387 | 581 | 968 | 1549 | 2420 | 3388 | 4840 | 6776 | 9196 | | 11616 | 14520 | 17908 | | 23232 |
| **2.4** | 264 | 422 | 634 | 1056 | 1690 | 2640 | 3696 | 5280 | 7392 | 10032 | | 12672 | 15840 | 19536 | | 25344 |
| **2.6** | 286 | 458 | 686 | 1144 | 1830 | 2860 | 4004 | 5720 | 8008 | 10868 | 13728 | | 17160 | 21164 | 27456 | |
| **2.8** | 308 | 493 | 739 | 1232 | 1971 | 3080 | 4312 | 6160 | 8624 | 11704 | 14784 | | 18480 | 22792 | 29568 | |
| **3** | 330 | 528 | 792 | 1320 | 2112 | 3300 | 4620 | 6600 | 9240 | 12540 | 15840 | | 19800 | 24420 | 31680 | |
| **3,2** | 352 | 563 | 845 | 1408 | 2253 | 3520 | 4928 | 7040 | 9856 | 13376 | 16896 | | 21120 | 26048 | 33792 | |
| **3.4** | 374 | 598 | 898 | 1496 | 2394 | 3740 | 5236 | 7480 | 10472 | 14212 | 17952 | | 22440 | 27676 | 35904 | |
| **3.6** | 396 | 634 | 950 | 1584 | 2534 | 3960 | 5544 | 7920 | 11088 | 15048 | 19008 | | 23760 | 29304 | 38016 | |
| **3,8** | 418 | 669 | 1003 | 1672 | 2675 | 4180 | 5852 | 8360 | 11704 | 15884 | 20064 | | 25080 | 30932 | 40128 | |
| **4** | 440 | 704 | 1056 | 1760 | 2816 | 4400 | 6160 | 8800 | 12320 | 16720 | 21120 | | 26400 | 32560 | 42240 | |
| **4.2** | 462 | 739 | 1109 | 1848 | 2957 | 4620 | 6468 | 9240 | 12936 | 17556 | 22176 | | 27720 | 34188 | 44352 | |
| **4.4** | 484 | 774 | 1162 | 1936 | 3098 | 4840 | 6776 | 9680 | 13552 | 18392 | 23232 | | 29040 | 35816 | 46464 | |
| **4,6** | 506 | 810 | 1214 | 2024 | 3238 | 5060 | 7084 | 10120 | 14168 | 19228 | 24288 | | 30360 | 37444 | 48576 | |
| **4,8** | 528 | 845 | 1267 | 2112 | 3379 | 5280 | 7392 | 10560 | 14784 | 20064 | 25344 | | 31680 | 39072 | 50688 | |
| **5** | 550 | 880 | 1320 | 2200 | 3520 | 5500 | 7700 | 11000 | 15400 | 20900 | 26400 | | 33000 | 40700 | 52800 | |

**5. NODAĻA**

**IEKŠĒJIE TĪKLI AR SPRIEGUMU LĪDZ 1000 V**

Rūpniecības uzņēmumu elektroapgādes sistēma elektroenerģijas sadali līdz atsevišķiem cehiem parasti nodrošina vidējā sprieguma (6-20 kV) tīkli. Cehos elektroenerģijas sadali un piegādi patē­rētājiem nodrošina iekšējie tīkli ar spriegumu līdz 1000 V. Šajos tīklos visplašāk lieto četrvadu trīsfāžu 380/220 V sprieguma sistēmu ar cieši zemētu neitrāli, tā radot iespēju no viena un tā paša pazeminošā transformatora barot gan spēka tīklu, gan apgaismošanas tīklu. Retāk 380 V sprieguma vietā lieto 660 V spriegumu. Iekšējiem tīkliem jeb, kā tos dažkārt sauc, ceha tīkliem var būt visdažādākās shēmas un konstruktīvie izpildī­jumi.

**5.1. IEKŠĒJO TĪKLU SHĒMAS**

Iekšējo tīklu shēmas izvēli nosaka vairāki faktori. Galvenais fak­tors, kas nosaka shēmas atsevišķo elementu (līniju posmu, sadaļu kopņu, komutācijas aparātu) savstarpējo rezervēšanas pakāpi, ir elektroenerģijas patērētājiem un atsevišķiem elektrouzņēmējiem iz­virzītās prasības pret elektroapgādes drošumu. Turklāt atsevišķo ba­rošanas līniju drošumam ir jābūt vienādam ar pieslēgtās elektrotehnoloģiskās iekārtas drošumu. Bez tam iekšējo tīklu shēmai ir jānodrošina minimālie reducētie izdevumi, tīklu montāža jāveic ar industriālām metodēm, pēc iespējas plašāk izmantojot rūpnieciskās sagataves un tīkla modeļus, un izbūvētajiem tīkliem jābūt ērti apkalpojamiem. Arī telpu bīstamī­bas pakāpe ietekmē shēmas izvēli.

Visus iekšējos tīklus pēc to shēmām iedala maģistrālajos un jauk­tajos tīklos. Pēc tīklu funkcionālās nozīmes tos iedala barošanas tīklos un sadales tīklos. Barošanas tīklos lieto gan maģistrālās, gan radiālās vai jauktās shēmas, bet sadales tīklos — galvenokārt tikai radiālās vai jauktās shēmas.

**5.1.1. MAĞISTRĀLĀS IEKŠĒJO TĪKLU SHĒMAS.**

Maģistrālās shēmas (5.1. att.) lieto tad, ja jābaro vienmērīgi izkliedēta slodze (mašīn­būves, kokapstrādes, instrumentu un citi cehi) vai arī vienotā teh­noloģiskā procesā saistīti elektrouzņēmēji, kad viena elektrouzņēmēja elektroapgādes pārtraukums izraisa visas tehnoloģiskās iekārtas apstāšanos. Gadījumos, kad ir nepieciešams paaugstināts elektro­apgādes drošums, var lietot divpusīgi barotas maģistrālās līnijas.

Lietojot maģistrālo shēmu, salīdzinājumā ar citam shēmām ievē­rojami samazinās nepieciešamo sadaļu skaits, un cehu elektroapgādē var lietot blokus transformators—maģistrāle, kurā maģistrāle iz­veidota no stāvvada. Šādiem tīkliem ar strāvvadu ir augsts darba drošums, un tiem viegli var pievienot jaunus pievadus, ja izmaina tehnoloģisko iekārtu novietojumu cehā.

Izšķir divas raksturīgākās maģistrālo tīklu shēmas:

1. shēma ar galveno maģistrāli, kura tieši pieslēgta transformatoru punktam (elektrouzņēmēji pieslēgti pie sadalošajām maģistrālēm);
2. shēma ar transformatoru punkta sadali (visas maģistrāles pieslēgtas sadalei).

Jebkurā gadījumā ir ietei­cams iekšējo tīklu shēmu izvēli vienmēr sākt ar maģistrālo shēmu lietošanas iespēju ana­līzi. Tikai tad, ja dažādi teh­niskie ierobežojumi neļauj lietot maģistrālo shēmu, jāizvēlas ra­diālās vai jauktās shēmas. Ma­ģistrālajām shēmām ir arī viens būtisks trūkums — maģistrāles bojājuma gadījumā tiek pār­traukta elektroapgāde visiem elektroenerģijas patērētājiem un elektrouzņēmējiem, kas ir pie­slēgti pie šīs maģistrāles. Se­višķi nevēlami tas ir tad, ja cehā ir vairāki svarīgi (lieli) elektrouzņēmēji, kas nav saistīti vienotā tehnoloģiskā procesa.

|  |
| --- |
| 5.1. att. Maģistrālās tīklu shēmas:  a - cehos ar izkliedētu slodzi, b — cehos ar koncentrētu slodzi, c — bloks transformators-maģistrāle,  d — ķēdīte; 1 — apakšstacijas sadale, 2 — sadales punkts, 3 — elektrouzņēmējs, 4 — maģistrāle,  5 — kopņu sekcija. |
| 5.2. att. Radiālas tīklu shēmas:  *a* — vienpakāpes, *b —* divpakāpju; 1— apakšstacijas sadale, *2* — sadales punkts, 3 — elektrouzņēmējs. |

**5.1.2. RADIĀLĀS IEKŠĒJO TĪKLU SHĒMAS.**

Radiālās shēmas (5.2. att.) katru atsevišķo elektrouzņēmēju vai to kopu baro no elektrosadales vai transformatora punkta pa atsevišķu līniju. Līdz ar to radiālo shēmu lietošana ievērojami paaugstina atsevišķu patērētāju elektro­apgādes drošumu salīdzinājumā ar maģistrālajām shēmām, kur prak­tiski visiem patērētājiem ir vienāds elektroapgādes drošuma līmenis. Bojājoties kādai no līnijām, tiks pārtraukta elektroapgāde tikai vie­nam elektrouzņēmējam vai elektrouzņēmēju kopai. Visi elektrouzņēmēji (patērētāji) tiek atslēgti tikai tad, ja bojājums ir uz trans­formatora sadales kopnēm, bet tas notiek ļoti reti. Pie radiālo shēmu priekšrocībām vēl ir jāpieskaita iespēja samērā vienkārši risināt tīkla aizsardzības un automatizācijas jautājumus, jo visa komutācijas aparatūra tiek izvietota sadalēs. Maģistrālo shēmu gadījumā komutā­cijas aparāti var būt izvietoti jebkurā maģistrāles nozarojumā.

Radiālos tīklus galvenokārt lieto, lai barotu

1. sevišķi svarīgus elektrouzņēmējus;
2. atsevišķas blīvi izvietotu mazjaudas elektrouzņēmēju grupas;
3. atsevišķus lieljaudas elektrouzņēmējus;
4. elektrouzņēmējus, kas atrodas sprādzienbīstamās, ugunsnedrošās un putekļaināstelpās, no sadalēm, kuras ir izvietotas ārpus bīstamajām telpām.

|  |
| --- |
| 5.3. att. Maģistrāļu rezervēšana. |

Galvenie šo shēmu trūkumi ir

1. lieli ierīkošanas izdevumi;
2. nepieciešamība uzstādīt daudz dažādu sadaļu, kas aizņem ceha teritoriju;
3. maza elastība, ja nepieciešams izmainīt tīklu, mainoties elektrouzņēmēju izvietojumam.

Radiālos tīklus ierīko no izolētiem vadiem caurulēs vai no ka­beļiem.

**5.1.3. JAUKTĀS IEKŠĒJO TĪKLU SHĒMAS.**

Tikai radiālos vai maģistrā­los tīklus vien praksē lieto reti. Visbiežāk daļu tīkla izveido ar maģistrālēm, bet daļu ar radiālām līnijām. Tāds tīklu shēmas prin­cips dod iespēju pilnīgāk izmantot radiālo un maģistrālo tīklu priekš­rocības, samazina reducētos izdevumus. Tā, piemēram, nereti ceha elektroapgādei no transformatoru punkta izbūvē maģistrālo strāvvadu, kuram pieslēdz sadales punktus, kas savukārt pa radiālām līnijām baro atsevišķus elektrouzņēmējus. Tāpat pie jauktām tīklu shēmām (5.3. att.) ir jāpieskaita savstarpēji rezervētu tīklu shēmas, kur ar radiālu līniju palīdzību rezervē maģistrālos tīklus no citām sadalēm vai transformatoru punktiem.

**5.2. IEKŠĒJO TĪKLU KONSTRUKCIJAS**

Iekšējo tīklu konstrukciju izvēlas atkarībā no nepieciešamās pār­vadāmās jaudas (strāvas) lieluma, patērētāju tipa un to izvietojuma telpā, apkārtējās vides īpatnībām.

**5.2.1. TĪKLU KONSTRUKCIJU KLASIFIKĀCIJA**.

Iekšējie tīkli var tikt izveidoti vai nu ar izolētiem, vai arī ar neizolētiem (kailiem) strāvas vadītājiem. Tīkli no izolētiem vadītājiem ir kabeļu tīkli un elektroinstalācija (izolēti vadi). Pie tīkliem ar neizolētiem vadītājiem pieder cehu gaisvadu līnijas un kopņvadi, kurus savukārt var iedalīt apgaismes, sadales un maģistrālajos kopņvados. Pie šiem tīkliem vēl bieži pieskaita arī troleju līnijas.

Neizolētie strāvas vadītāji savukārt var būt atklāta tipa un slēgti, ķīmiski izturīgi un aizsargāti pret putekļiem vai šļakatām.

Izolēto vadītāju tīklus parasti vēl iedala sīkāk pēc vadītāju (ka­beļu vai izolētu vadu) novietojuma. Kabeļus var likt blokos vai kabeļu akās, kanālos un tuneļos, tos var izvietot pa estakādēm, šahtām vai arī montēt uz tehnoloģisko cauruļvadu konstrukcijām. Elektroinstalāciju savukārt iedala vaļējā un slēgtajā, iekštelpu un ārējā instalācijā.

**5.2.2. KOPŅVADI**.

Rūpniecības uzņēmumu iekšējos tīklos aizvien vairāk kabeļu vietā sāk izmantot visdažādāko konstrukciju kopņvadus, līdz ar to nodrošinot maģistrālo shēmu plašāku lietošanu dārgākās radiālās tīkla shēmas vietā. Lietojot kopņvadus, var izveidot universālus elektriskos tīklus, kas ir droši ekspluatācijā un kuriem ir ļoti ērti izmainīt formu, ja mainās ražošanas tehnoloģiskais process un elektrouzņēmēju izvietojums cehā. Kopņvadiem var viegli pieslēgt jaunus patērētājus praktiski jebkurā vada vietā, ievērojami samazinot nozarojumu garumus.

Kopņvadiem ir augsts darba drošums, ērta apkalpošana, un, kas ir sevišķi svarīgi montāžai, tie ir sa­montējami no atsevišķām sekcijām, iz­veidojot visdažādākā garuma un formas tīklus. Tādējādi ievērojami samazinās montāžas izmaksas un darbu ilgums.

Kopņvadiem ir arī virkne elektro­tehnisku priekšrocību. Salīdzinājumā ar atklātu kopņu līnijām kopņvadiem ir daudz mazāka induktīvā pretestība, jo kopņvadu konstrukcijas dēļ var ievēro­jami samazināt attālumus starp kop­nēm.

Lai samazinātu krāsainā metāla pa­tēriņu, ir vēlams pēc iespējas palielināt strāvas blīvumu kopņvados. To var pa­nākt, lietojot termoizturīgus izolācijas materiālus, efektīvu ventilāciju un iz­vēloties kopņu racionālu skaitu katrai fāzei un to optimālos ģeometriskos iz­mērus un savstarpējo izvietojumu, lai samazinātu jaudas zudumus kopņvadā.

Pēc dažādu fāžu kopņu savstarpējā novietojuma kopņvadus iedala trīs gru­pās (5.4. att.):

1. kopņvadi ar dalītām fāžu kopnēm;
2. kopņvadi, kuros kopnes ir grupētas pa dažādu fāžu pāriem;
3. kopņvadi, kuros ir vairākas trīsfāžu kopņu paketes.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.4. att. Kopņvadu fāžu izvieto­jums:  *a* — kopņvadi ar dalītām fāžu kop­nēm;  *b —* kopņvadu grupējums fāžu pāros;  *c* — kopņvadi ar trīsfāžu kopņu paketēm. |

Kopņvados ar dalītām fāžu kopnēm katrai fāzei ir paredzēta at­sevišķa kopņu pakete. Salīdzinājumā ar nedalītiem kopņvadiem dalī­tajiem kopņvadiem ir labāki dzesēšanas apstākļi, un tāpēc var pa­lielināt strāvas blīvumu kopnē. Parasti izveido katrai fāzei vienu divkopņu vai trīskopņu paketi. Sadalīt kopnes vel sīkāk nav racio­nāli, jo, palielinoties kopņu skaitam paketē vairāk par trīs, dzesē­šanas apstākļu uzlabošanās ir niecīga.

Lietojot kopņvadus ar dažādu fāžu kopņu pāriem, kopējā kopņ­vada caurlaides spēja palielinās par 20-30% un sprieguma zudumi samazinās vairāk nekā trīs reizes. Turklāt fāžu kopņu pāru vados notiek slodžu izlīdzināšanās starp fāzēm nesimetrisku un pat vien­fāzes slodžu gadījumos sakarā ar lielo induktīvo saiti starp fāzēm.

|  |
| --- |
|  |
| ***b***  5.5. Maģistrālie kopņvadi: *a* - kopņvads ШMA731600 A strāvai; *b* - kopņvads SC (3L+N+PE) strāvai no 630 A līdz 5000 A |

|  |
| --- |
| ***a*** |
| ***b*** |
|  |

5.6. Sadales kopņvadi: a - 250 A strāvai (iekavās uzrādītie izmēri atbilst kopņvadiem ar 400 A un 630 A strāvu); b - ШPA64 (1 — aizbīdnis, 2 — nozarkārba ar drošinātājiem, 3 — nozarkārba ar automātu, 4 — kārba ar signālspuldzēm, 5 — ievadkārba); c – sadales kopņvadu DCD un DVCU sekcijas (630…5000 A)

Vismazākie jaudas zudumi ir kopņvadiem ar vairākām trīsfāžu kopņu paketēm. Šajos kopņvados atsevišķo fāžu kopnes apvieno blīvās paketēs, kurām līdz ar to uzlabojas elektrodinamiskā izturība pret varbūtējo īsslēguma strāvu iedarbību. Blīvais kopņu izvietojums ar maziem attālumiem starp dažādām fāzēm ievērojami samazina arī kopņvada induktivitāti un tā ģeometriskos parametrus. Dažreiz kopņvadus izveido no vairākām trīsfāžu paketēm atsevišķos apval­kos. Šādus kopņvada moduļus var samontēt atbilstoši aplēses (aprēķinu) strā­vām.

Kopņvadiem visplašāk lieto alumīnija vai alumīnija sakausējuma kopnes. Alumīnija kopnes ir viegli apstrādāt, metināt. Tās ir samērā izturīgas pret koroziju, jo ātri izveidojas aizsargājošā oksīda kār­tiņa. Taču alumīnija kopnēm ir arī virkne trūkumu. Tās ir mehā­niski neizturīgas, ir grūti izveidot labu elektrisko kontaktu kopņu savienojumos oksīda kārtiņas dēļ. Tāpēc pašreiz kopņvadu kopnes izgatavo no alumīnija sakausējumiem, kuri no­drošina kopņu savienojumu pietiekamu drošumu.

Kopņu izolācijai izmanto dažādas izolējošas caurules vai polimēru laku. Kopņu savienojumu aizsargāšanai un izolēšanai lieto izjaucamus pārvalkus, kurus var nofiksēt nepieciešama stāvoklī.

|  |  |
| --- | --- |
| 5.7. att. | Lai aizsargātu kopņvadus pret mehāniskiem bojājumiem un no­drošinātu nepieciešamo darba drošību, visiem kopnēm ir apvalki. Ap­valki var būt pilnīgi noslēgti vai arī ar dažādiem izgriezumiem (caurumiem), kuri uzlabo kopņvadu ventilāciju un samazina putekļu uzkrāšanos.  Pēc konstrukcijas un lieto­šanas jomas izšķir maģistrālos un sadales kopņvadus (standarts IEC/NE 60439-1 un 2; DIN VDE 0660 500 un 502). Maģis­trālos kopņvadus pie­slēdz tieši pie transformatora (5.7. att.) vai nu ar viena automāta starp­niecību, vai arī, ja ir vairākas aizejošās maģistrāles, uzstāda līniju slēdžus.  Sadales kopņvadus (5.6. att.) lieto elektroenerģijas sadales pēdējā pakāpē. Sevišķi ieteicams tos izmantot tad, ja cehā ir iespējamas biežas iz­maiņas tehnoloģisko iekārtu iz­vietojumā, un cehos, kur iekār­tas ir novietotas pa rindām. Pie sadales kopņvadiem parasti pie­slēdz elektrouzņēmēju ievada skapjus (5.8. att.). Tā kā kopņvadu vienmēr cenšas izvietot tuvāk elektrouzņē- mējiem, nozarojumu garums no sadales kopņvada līdz ievada skapim nepārsniedz 3…5 m. Līdz ar to nozarojumos nav nepieciešams uzstādīt aizsargaparatūru, bet nepieciešamo apara­tūru ievieto ievada skapī. Dažu marku sadales kopņvadiem (5.8. a. att.) ir pa­redzētas speciālas nozarkārbas, kurās var būt dažāda komutācijas un aizsardzības aparatūra (automāti, slēdži, drošinātāji). Ja kopņvadam pieslēdz trīsfāžu |

|  |
| --- |
|  |

5.8. att.

elektrouzņēmēju, ir jāizmanto arī iezemē tais izvads. Vienfāzes elektrouzņēmēju pieslēgšanai jāizmanto fāzes vads, nullvads un zemēšanas izvads.

Rūpniecības uzņēmumu apgaismošanas tīklos plaši izmanto komplektos apgaismošanas kopņvadus (5.9. att.), kurus lie­tojot iespējams sasniegt apgaismošanas tīklu montāžas pilnīgu industrializāciju un kuri ir ļoti ērti ekspluatācijā. Tādi kopņvadi ir paredzēti rūpniecības cehiem ar normālu vidi 380/220 V sprie­guma četrvadu līniju izveidošanai.

Rūpniecībā ražo taisnas un leņķa (stūra) kopņvadu sekcijas, kā arī ievada sekcijas ar spraudņu savienojumiem. Kopņvada komplektā ietilpst atzarojumu spraudņi, gala noslēgi un stiprināšanas konstrukcijas.

Apgaismes kopņvadiem LB, HL, ШOC (5.9. att.) ir aizsargātais izpildījums, nominālā strāva 25-40 A. Kopņvada sekcija ir 1,5…3 m gara tērauda vai alumīnija kārba ar iekšpusē ievietotiem izolētiem vara vadiem, kuru šķērsgriezums ir 10 mm2. Vienam sekcijas galam var būt rozete, otram — kontaktdakša. Ievada sekcija ir 0,5 m gara, un tai ir kārba ar spailēm baro­šanas maģistrāles vadu pieslēgšanai.

Cehos, kur izmanto spēka sadales kopņvadus, plaši lieto (it īpaši automobiļu rūpnīcās) kopēju ietaisi apgaismošanas un spēka kopņvadiem (5.10. att.).

|  |
| --- |
| ***a*** |
| ***b***  5.9. att. Apgaismes kopņvada kopskats (*a*) un principiālā shēma (*b*) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.10. att. Apgaismošanas kopņvada un spēka kopņvada kopēja uzstādīšana: *a* — kopskats, *b* — šķērsgriezums; 1 — spēka kopņvads, 2 — no caurules izgata­vots balstenis, 3 — gaismeklis, 4 — pakārs, 5 — apskāva, 6 — saspraudnis, 7 — ap­gaismošanas kopņvads. |

Barošanas (maģistrāles) kopņvadā sprieguma zudums nedrīkst pārsniegt 1,5-1,8 %. Ja patērētāju jaudas koeficienti ir vienādi, tad sprieguma zudumu var aprēķināt pēc formulas

 (5.1)

kur *Iai* un *li* – posma *i* aplēses strāva un garums; *r*0 un *x*0 – kopņvada īpatnēja aktīva un reaktīva pretestība; *n* – posmu skaits.

Ja jaudas koeficienti mainās, tad

 (5.2)

kur cos φi — kopņvada posma *i* jaudas koeficients.

Sadales kopņvados ar vienmērīgu slodzes sadalījumu sprieguma zudums nedrīkst pārsniegt 2-2,5 %. Aprēķinos vienmērīgu slodzi aizvieto ar koncentrētu slodzi kopņvada vidu, tad

 (5.3)

kur *Ia* un *la* – aplēses strāva un posma garums ar vislielāko slodzi.

Spriegums uz vistālāko elektropatērētāja spailēm aprēķina pēc formulas

 (5.4)

kur *UZS T* – spriegums transformatora zemsprieguma pusē (līdz 1 kV); Δ*Ui* – posma *i* sprieguma zudums; *m* – posmu skaits līdz elektropatērētāja ar spriegumu *Uv.p.*.

Spriegums transformatora zemsprieguma pusē

*UZS T* = *U*0 – Δ*UT*, (5.5)

kur *U*0 – transformatora tukšgaitas spriegums, *U*0 = 105 %; Δ*UT* – sprieguma zudums transformatorā.

Nominālā režīma spriegums *Uv.p.* atrodas diapazonā 95—105 %.

**5.1. piemērs.** Noteikt sprieguma zudumu barošanas kopņvadā ШМА4-1600 tipa, kas sastāv no trim posmam. Katra posma garums, slodze un jaudas koeficients paradīti 5.11. attēlā. Tīkla nominālais spriegums 380 V.

|  |
| --- |
|  |

5.11. att. Maģistrālā kopņvada shēma 5.1. piemēram.

Atrisinājums.

Kopņvada īpatnējas pretestības *r*0 = 0,0297 Ω/km un *x*0 = 0,0143 Ω/km (5.1.tabula).

Pēc formulas (5.2) aprēķināsim sprieguma zudumu barošanas (maģistrāles) kopņvadā:



**5.2. piemērs.** Noteikt sprieguma zudumu barošanas kopņvadā ШРА4-250 tipa ar garumu 36 m. Pie kopņvada pieslēgta elektropatērētāju grupa ar aplēses strāvu 210 A un jaudas koeficientu соs*φ* = 0,65.

Atrisinājums.

Kopņvada īpatnējas pretestības *r*0 = 0,21 Ω/km un *x*0 = 0,21 Ω/km (5.2.tabula).

Pēc formulas (5.3) aprēķināsim sprieguma zudumu sadales kopņvadā:



5.1. tabula

**Maģistrālais (barošanas) kopņvads ШМА4**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nr. p.k.** | **Rādītāji** | **ШМА4-**  **1250** | **ШМА4-**  **1600** | **ШМА4-**  **2500** | **ШМА4-**  **3200** |
| 1. | Nominālā strāva, А | 1250 | 1600 | 2500 | 3200 |
| 2. | Nominālais spriegums, V | 660 | 660 | 660 | 660 |
| 3. | Elektrodinamiskā izturība, кА | 70 | 70 | 70 | 70 |
| 4. | Fāzes pretestība, Ω/km: |  |  |  |  |
| aktīvā | 0,0338 | 0,0297 | 0,0169 | 0,0150 |
| induktīvā | 0,0161 | 0,0143 | 0,0082 | 0,0072 |
| 5. | Cilpas fāze nulle pilnā pretestība, Ω/km | 0,0862 | 0,0872 | 0,0822 | 0,053 |
| 6. | Līnijas sprieguma zudums, V uz 100 m pie *IN* un cos*φ* = 0,8, ja slodze atrodas līnijas beigas | 8,93 | 9,13 | 9,7 | 9,0 |
| 7. | Aizsardzības pakāpe | 1Р44 | 1Р44 | 1Р44 | 1Р44 |

5.2. tabula

**Sadales kopņvads ШРА4**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nr. p.k.** | **Rādītāji** | **Kopņvada tips** | | | |
| **ШРА4-100** | **ШРА4-250** | **ШРА4-400** | **ШРА4-630** |
| 1. | Nominālā strāva, А | 100 | 250 | 400 | 630 |
| 2. | Elektrodinamiskā izturība, кА | 7 | 15 | 25 | 35 |
| 3. | Fāzes pretestība, Ω/km: |  |  |  |  |
|  | aktīvā | - | 0,21 | 0,15 | 0,10 |
|  | induktīvā | - | 0,21 | 0,17 | 0,13 |
| 4. | Līnijas sprieguma zudums, V uz 100 m pie *IN* un cos*φ* = 0,8 | - | 6,5 | 8,0 | 8,5 |
| 5. | Aizsardzības pakāpe | IР44 | IP44 | IP44 | IP44 |

**5.2.3. TROLEJU LĪNIJAS.**

Troleju līnijas ierīko, lai nodrošinātu ar elektroenerģiju tilta celtņus un dažādus transporta līdzekļus. Elek­troenerģiju no nekustīgā troleja uz kustīgo mehānismu pārvada ar slīdošiem strāvas noņēmējiem, kas piemontēti pie mehānisma (5.12. att.). Ja ap­kārtējās vides apstākļu vai arī ražošanas darba aizsardzības prasību dēļ nav atļauts ierīkot neizolētu troleju līnijas, lieto lokanos strāvvadus.

Tilta celtņu galvenie troleji sastāv no darba un remonta pos­miem, lai nepieciešamības gadījumā varētu remontēt transporta mehānismus. Parasti trolejus baro pa radiālām līnijām no tuvākās pazeminošās apakšstacijas vai arī no maģistrālā kopņvada. Troleju shēma (5.13. att.) ir jāizveido tā, lai vajadzības gadījumā varētu at­slēgt troleju līnijas jebkuru sekciju un remonta posmu. Vietās, kur troleji tiek sekcionēti, izveido 50 mm platas izolējošas (gaisa) sprau­gas, tādā veidā radot iespēju barot atsevišķos sekcionētos posmus pa dažādām līnijām, reizē nodrošinot mehānismu nepārtrauktu elektroapgādi, jo strāvas noņēmēji ir pietiekami plati, lai nosegtu izolācijas spraugu.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b***  5.12. att. Elektrouzņēmēja pieslēgšana sa­dales kopņvadam (*a*), firmas Vahle kontaktu sliedes (*b*): 1 - kopņvads, 2 - nozarkārba, 3 - kabelis,  4 — konstrukcija kabeļu novietošanai, 5 - vadības aparatūra. |

Troleju līniju un barošanas līniju izvēles aprēķinus veic pēc aprēķina (ap­lēses) strāvām un sprieguma zudumiem mehānismu palaišanas brī­žos. Pašus trolejus visbiežāk izgatavo no dažāda profila tērauda. Visplašāk šeit izmanto vienādsānu leņķtēraudu. Ja troleja līnijas garums ir relatīvi liels un ir lielas palaišanas strāvas, var būt eko­nomiski izdevīgi troleja līniju ierīkot ar papildu barošanas kop­nēm: t. i., blakus tērauda trolejam samontē alumīnija kopni, kuras uzdevums ir nodrošināt troleju ar nepieciešamās kvalitātes elektro­enerģiju. Ja troleju izgatavo no dažādiem alumīnija sakausējumiem, tad nav nepieciešams izbūvēt papildu barošanas kopni, bet ir jā­lieto speciālas konstrukcijas strāvas noņēmēji, kas nenodeldē tro­leja vadu.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.13. att. Celtņu troleju shēmas:  *a*, *b* un *c* — viena, divu un trīs celtņu troleji, ja ir viens barošanas avots; d, e, f — tas pats, ja ir divi barošanas avoti; 1 — celtnis; 2 — troleja darba posms; 3 — troleja remonta posms; 4 — ievada automāts; 5 — remonta posma svirslēdzis. |

Troleja kopņvadus (5.14. att.) izgatavo no alumīnija vai vara kopnēm, un tiem ir kompakta konstrukcija ar maziem starpfāžu at­tālumiem. Troleja kopnes nostiprina vienlaidu apvalkā, kuram ir izveidots nepārtraukts izgriezums strāvas noņēmēja kustībai. Strā­vas noņēmējam ir grafīta kausējuma sukas. Izšķir trīsvadu (trīs­fāžu) un četrvadu (trīsfāžu ar nullvadu) troleju kopņvadus, pa kuriem var barot gan trīsfāžu, gan vienfāzes elektrouzņēmējus.

|  |
| --- |
|  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***a*** | |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | |  | **TS 5** | | | **TS 250** | | ***IN*, A** | **70** | **110** | **150** | **250** | | ***S*, mm2** | **19,04** | **23,8** | **42,5** | **85** | |
| ***b***  5.14. att. Troleja kopņvadi: *a* – TS 5 un TS 250; *b* – ШTA 72 (1 - apvalks, 2 - izolators,  3 - trolejs). | |

Minimāli pieļaujamais troleja kopņvada uzstādīšanas augstums ir 3,5 m, un kopņvada apvalkam ir jābūt abos galos iezemētam.

**Celtņa sliežu ceļš** – ir ceļš, pa kuru pārvietojas kravas celtņi. Celtņa sliežu ceļš ir pacelšanas mehānismu, t.i. tilta celtņu, montāžas (stiprinājumu) pamats. Tie kalpo par vadulēm celtņa pārvietošanai. Tilta celtņos izmanto dzinējus kravas pacelšanai un pārvietojumam. Dzinēji strādā atkārtoti īslaicīga režīmā ar izmantošanas koeficientu *KI* = =0,15-0,35. Celtņos ar nelielu celtspēju izmanto asinhronos dzinējus ar īsslēgto rotoru un jaudas koeficientu cosφ = 0,45—0,5, bet celtņos ar lielu celtspēju asinhronos dzinējus ar fāzu rotoru un jaudas koeficientu cosφ = 0,6.

***Troleju līnijas izvēle***. Trolejus izvēlas atbilstoši uzstādīšanas vietai shēmā, saskaņojot to ar lietotāja parametriem.

1. Troleju līnijas nominālam spriegumam *UN* jābūt lielākam vai vienādam ar elektroiekārtas nominālo spriegumu *UN.iek.*,

*UN ≥ UN.iek.*. (5.6)

1. Troleju nominālai strāvai *IN* jābūt vienādai vai mazākai par pieļaujamo strāvu *Ip* (5.3 tab.), bet lielākai vai vienādai par aplēses strāvu *Ia*

*Ip ≥ IN ≥ Ia.* (5.7)

5.3. tabula

**Leņķtērauda pieļaujama strāva**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Pieļaujama strāva, A, ja leņķtērauda šķērsgriezums, mm2 | | | | |
| 25x25x3 | 40x40x4 | 50x50x5 | 60x60x6 | 75x75x8 |
| 150 | 250 | 315 | 395 | 520 |

Troleju līnijas aplēses strāvu aprēķina pēc formulas

 (5.8)

kur *Pn* – celtņa patērēta jauda pie nominālas slodzes; *KP* – celtņa pieprasījuma koeficients (5.15. att.); tg*φ* – jaudas koeficienta vidēja vērtība.

Celtņa patērēta jauda

 (5.9)

kur *PNi* un *ηi* – posma *i* dzinēja nominālā jauda un lietderības koeficients, n – dzinēju skaits.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.15 att. Celtņa pieprasījuma koeficients dažādos darba režīmos: 1 — ļoti smaga režīmā; 2 — smaga režīmā; 3 — vidēja režīmā; 4 — viegla režīmā; 5 — īpaši viegla režīmā. |

Vidēja režīmā vērībai *ne* = 2; 5; 10; 15 un 20 atbilst pieprasījuma koeficienti *KP* = =0,4; 0,35; 0,22; 0,2 un 0,18.

Sprieguma zudums troleja līnijā nedrīkst pārsniegt 6-7%. Troleja kopņvados sprieguma zudumu aprēķina pēc formulas

 (5.10)

kur *Imax* – piķa strāva celtņa dzinējus, *rk* un *xk* – aktīvā un reaktīvā pretestība kopņvada posmā (no pieslēgšanas punkta līdz kopņvada galam).

Piķa strāva celtņa dzinēju grupai

*Imax = In max* + (*Ia – IN max*), (5.11)

kur *In max –* maksimālā palaišanas strāva dzinēju grupai, *IN max* – nominālā strāva dzinējam ar vislielāko palaišanas strāvu.

Sprieguma zudumu celtņa tērauda trolejās aprēķina pēc izteiksmes

Δ*U = m · I,*  (5.12)

kur m – īpatnēji sprieguma zudumi, %/m (sk. 5.4. tabulu); l – aprēķina posma garums, m.

5.4. tabula

**Īpatnēji sprieguma zudumi celtņa tērauda trolejās**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Aplēses strāva, A, dažiem leņķtērauda izmēriem, mm** | | | | **m, %/m** | |
| **40x40x4** | **50x50x5** | **60x60x6** | **75x75x8** |
| 65 | 80 | 95 | 125 | 0,06 | |
| 75 | 95 | 111 | 140 | 0,07 | |
| 85 | 110 | 130 | 168 | 0,08 | |
| 95 | 125 | 150 | 194 | 0,09 | |
| 108 | 140 | 171 | 222 | 0,10 | |
| 123 | 158 | 193 | 250 | 0,11 | |
| 138 | 177 | 215 | 278 | 0,12 | |
| 153 | 195 | 235 | 306 | 0,13 | |
| 168 | 214 | 259 | 334 | 0,14 | |
| 183 | 282 | 280 | 362 | 0,15 | |
| 210 | 264 | 317 | 404 | 0,165 | |
| 230 | 291 | 351 | 449 | 0,175 | |
| 250 | 315 | 395 | 494 | 0,185 | |
| 270 | 345 | 419 | 539 | 0,195 | |
| 300 | 385 | 470 | 607 | 0,21 | |
| 340 | 439 | 538 | 697 | 0,23 |
| 380 | 493 | 606 | 787 | 0,25 |
| 420 | 547 | 674 | 877 | 0,27 |
| 460 | 601 | 742 | 967 | 0,29 |
| 480 | 628 | 776 | 1012 | 0,30 |

Ja pie vienai troleju līnijai pieslēgti divi celtņi, tad aprēķina posma garumu sareizina ar 0,8, ja trīs celtņi – ar 0,7.

Spriegums uz dzinēju spailēm nevar būt mazāks par 85 % no nominālā sprieguma.

**5.3. piemērs.** Aprēķināt troleju līniju celtnim ar celtspēju 5 t . Celtņa dzinēji: kravas pacelšanai 7,5 kW, η = 75,5 %, cosφ = 0,77, palaišanas strāva Ip mах = 78 А; vagonetes - 1,4 kW, η = 61,5 %; tilta pārvietošanai - 2x2,2 kW, η = 67 %. Aprēķina posma garums l = 65 m. Tīkla nominālais spriegums 380 V.

Atrisinājums.

Dzinēju summāra jauda



Efektīvo elektropatērētāju skaits



Pie *ne* = 2 pieprasījuma koeficients *KP* = 0,4. Celtņa iekārtam jaudas koeficienta vidējā vērtība tg*φ* = 1,73.

Troleju līnijas aplēses strāva



Pēc noteikuma (5.7) troleju līnijai izvēlam leņķtēraudu ar izmēriem 40x40x4 mm ar pieļaujamo strāvu *Ip* = 250 A.

Nominālā strāva dzinējam ar vislielāko jaudu



Troleju līnijas piķa strāva

*Imax = In max* + (*Ia – IN max*) – 78 + (22,9 – 19,6) = 81,3 A.

Pēc 5.3 tabulas, ja Imax = 81,3 A, tad m= 0,076 %/m. По табл. 7.8 для *I*пик= 81,3 А *т =* 0,076 %/м.

Sprieguma zudums troleja līnijā

Δ*U = m · I =* 0,076·65 = 4,94 %,

Kas ir mazāks par pieļaujamo sprieguma zudumu.

**5.3. DZĪVOJAMO UN SABIEDRISKO ĒKU IEKŠĒJIE TĪKLI**

**5.3.1. ELEKTROUZNĒMĒJI.**

Visus dzīvojamo ēku elektrouzņēmējus iedala divās grupās:

* dzīvokļu elektrouzņēmēji;
* ēkas kopīgie elek­trouzņēmēji.

Pašlaik no visiem dzīvokļu elektrouzņēmējiem elektro­enerģiju visvairāk patērē apgaismes iekārtas. Apgaismo­juma normas no­saka, ka vidējam apgaismojumam dzīvojamās telpās jābūt 300 lx, bet koridoros un sanitārajos mezglos — 100 lx. Dzīvokļu apgaismei izmanto parastas un halogēnās kvēlspuldzes. Ražo arī sadzīves gaismekļus ar luminiscences spuldzēm. Šādu gaismas avotu plaša ieviešana dzīvojamās ēkās ievērojami samazinās elektroenerģijas patēriņu. Vidēji vienģimenes dzīvoklī apgaismei patērē 450…500 kWh elektro­enerģijas gadā. Stacionāro elektroplīšu optimālā jauda vienas ģimenes vaja­dzībām ir 7…7,5 kW. Izmanto dažāda tipa plītis ar maksimālo jaudu no 3 kW līdz 9 kW, kuru lietderības koeficients ir 60…70%. No pētījumiem redzams, ka dzīvokļos ar stacionārajām elektroplītīm ēdienu gatavošanai izmanto gadā vidēji 1000 kWh elektroenerģijas.

No pārējiem sadzīves elektrouzņēmējiem vidēji gadā visvairāk elektroenerģiju patērē ledusskapji (350…400 kWh), televizori (150 kWh) un gludekļi (85 kWh). Jāpiebilst, ka arvien plašāk mūsu dzīvokļos parādās tādi jauni elektrouzņēmēji ar relatīvi lielu nominālo jaudu kā automātiskās veļas mazgāšanas mašīnas, trauku mazgāšanas mašīnas un gaisa kondicionēšanas iekārtas.

Dzīvokļu elektrisko slodžu noteikšanai var rekomendēt šādus datus par vidējo elektroenerģijas patēriņu:

1. dzīvokļiem ar gāzes plītīm — 1500 kWh gadā;
2. 2) dzīvokļiem ar stacionārām elektroplītīm — 2500 kWh gadā.  
   Ēku kopīgā elektrouzņēmēju struktūra ir atkarīga no ēkas tipa, tās stāvu un dzīvokļu skaita. Parasti izdala divas galvenās elektro­uzņēmēju grupas:
3. apgaismes iekārtas;
4. pasažieru un kravas lifta elektropiedziņa;
5. ventilācijas iekārtu;
6. ūdensapgādes sistēmu sūkņu elektrodzinēji.

Kā atsevišķi elektrouzņēmēji ir jāizdala radiotranslācijas trans­formatori, televizoru antenu pastiprinātāji un dažādas signalizāci­jas un telemehānikas iekārtas.

Visdažādākos elektrouzņēmējus lieto komunālām vajadzībām. Jeb­kuras sabiedriskās ēkas elektrouzņēmēju sastāvu nosaka saskaņā ar iestādes vai uzņēmuma projekta tehnoloģiskās un sanitāri teh­niskās daļas datiem.

**5.3.2. ĒKU ELEKTRISKO TĪKLU IERĪKOŠANAS PAMATPRINCIPI.**

Galvenie faktori, no kuriem atkarīga ēku elektrisko tīklu shēmas izvēle, ir tīkla spriegums, prasības pret elektroapgādes drošumu un drošību, elektrisko slodžu vērtības un ēku konstruktīvās īpatnības. Dažādu konkurētspējīgu shēmu varianti jāsalīdzina pēc ekonomiskajiem rā­dītājiem.

Atsevišķu elektrouzņēmēju un ēku elektroapgādes drošumu regla­mentē standarts EN 60364 – IEC 60364 „Elektriskā instalācija ēkās”, IEC 60670 „Vispārējie noteikumi par slēgiekārtu korpusiem pastāvīgajām elektroietaisēm dzīvojamajām mājām un tamlīdzīgām vietām”, NE 60898-IEC 60989 „Slēgiekārtas aizsardzība no strāvas pārslodzes”, IEC 61643-1 „Pārsprieguma ražošanas iekārtas, kas pieslēgtas LV izplātīšanas tīkliem”, EN61095-IEC61095 „Elektromehāniskie slēdži”, EN61669-IEC606690 „Pastāvīgās uzstādīšanas slēdži” ka arī EIN un Celtniecības normas un noteikumi (CNuN). Tā, pie­mēram, pie pirmās kategorijas elektrouzņēmējiem 17 stāvu un vairākstāvu ēkās pieskaita ugunsdzēšanas sūkņus, dūmu aizsardzības iekārtas un centrālos siltuma punktus. Pārējie 17 stāvu un vairākstāvu ēku kopīgie elektrouzņēmēji ir jānodrošina ar elektroapgādi atbilstoši otrās kategorijas prasībām. Ēkās ar gāzes plītīm vai cieto kurināmo, kur stāvu skaits ir no 6 līdz 16, kā arī visās ēkās ar elektroplītīm visi ēku kopīgie elektrouzņēmēji ir pieskaitāmi pie otrās kategorijas. Sabiedrisko ēku elektrouzņēmēju elektroapgādes drošuma kategorija ir atkarīga no iestādes vai uzņēmuma rakstura, ēkas stāvu skaita, ēkā strādājošo vai apmeklētāju skaita, tirdzniecības telpu platības utt.

Pēc *funkcionālās nozīmes* ēku iekšējos tīklus ar spriegumu līdz 1000 V iedala barošanas, sadales un grupu tīklos.

Par *barošanas* tīkliem sauc elektrolīnijas, kas no ēku ievadsadalēm vai iebū­vēto transformatoru pun­ktiem baro spēka sadales vai apgaismes tīklu grupu sadales.

Pie *sadales* tīk­liem pieskaita elektrolīni­jas, kas ierīkotas no spēka sadalēm līdz elektrouzņēmējiem. Savukārt par *gru­pas* tīkliem sauc līnijas no grupu sadalēm līdz gais­mekļiem.

Pie *grupu* tīkliem pieskaita arī līnijas no stāvu sadalēm līdz atse­višķo dzīvokļu elektrouzņēmējiem.

Parasti visus iekšējos tīklus ekspluatē dalītā re­žīmā, t. i., esošās rezerves ķēdes ieslēdz tikai remonta vai avārijas gadījumā.

Pēc *shēmu izpil­dījuma* tīklus iedala *ra­diālos*, *maģistrālos* un *jauktos* tīklos.

Radiālajos tīklos barošanas līnijas ievadsadali sa­vieno ar atsevišķām sadalēm vai spēka elektrouzņēmējiem. Radiālo shēmu galvenā priekšrocība ir to augstais drošums, jo, bojājoties vienai no līnijām, būs pārtraukta elektroapgāde vai nu tikai vienam elektrouzņēmējam, vai spēka sadalei. Taču šādos tīklos ir garas līni­jas un ievērojami palielinās komutācijas aparātu skaits. Tāpēc šādu shēmu lieto tikai atbildīgu elektrouzņēmēju elektroapgādei.

Dzīvo­jamās ēkās parasti izbūvē jauktos tīklus, kur kopīgos spēka elektrouzņēmējus baro pa radiālām līnijām, bet dzīvokļu elektroapgādi iz­veido ar maģistrālo shēmu.

Dzīvojama māja barošana notiek no ievada līnijām L1 un L2, kurus pieslēdz pie ievada sadali 1 (5.16. att.). Ievada kopējo rezervēšanu nodrošina ar pārslēdzi 2. Pirmās kategorijas patērētājus barošana notiek uzreiz no ievada līnijām L1 un L2. Ievadu līnijas savstarpējo rezervēšanu nodrošina kontaktoru stacija 4. Ja pazuda spriegums līnijā L1, tad kontaktors K0 atslēdzas, bet ieslēdzas rezerves līnijas L2 kontaktors KP. Spēka slodzes barošana notiek pa atsevišķo līniju kas pieslēgta pie ievada L2, bet apgaismes slodze pieslēgta pie L1. Stāvu un dzīvokļu grupu sadales pieslēgti pie stāvvada 3.

|  |
| --- |
|  |

5.16. att. Dzīvojama ēķa iekšēja tīkla ar spriegumu 0,4 kV galvenie elementi

Atkarībā no stāvu skaita dzīvojamās ēkās pie horizontālajām barošanas līnijām pieslēdz vienu vai vairākus *stāvvadus* (5.17. att. un 5.5. tab.), no kuriem katrā stāvā savukārt ir nozarojumi uz stāvu grupu sadalēm. Ja dzīvokļu skaits ēkas sekcijas stāvā nepārsniedz četrus, tad ēkās līdz 16 stāviem ir ekonomiski lietderīgi katrai sekcijai ierīkot tikai vienu stāvvadu. Taču no elektroapgādes drošuma apsvērumiem liela dzīvokļu skaita gadījumā (ēkās ar 9 stāviem un augstākās) reko­mendē ierīkot divus stāvvadus vienā sekcijā.

5.5. tabula

**Dzīvojamo ēku stāvvadu shēmas**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Stāvu skaits | Stāvvada numurs (5.14 att.) atkarība no sekciju skaita dzīvojama mājā | | |
| 1 | 2-4 | 5-10 |
| 5-9 | Gazificētas ēkas | | |
| 1 | 1 | 1 |
|  | Ēkas ar elektriskajam plītīm | | |
| 5-8 | 1 | 1 | 1 |
| 9-12 | 2(3) | 1(4) | 1(4) |
| 13-16 | 2(3) | 1(4) | 1(4) |
| 17-22 | 2(3) | 1(4) | 1 (2) |
| 22-25 | 3 | 1(2) | 1(2) |

Piezīme. 16. stāvu un vairāk stāvu ēkās rekomendē izmantot stāvvadu skaitu, kas pāradīts iekavas. Šajā gadījumā var sasniegt lielāku patērētāju drošumu, bet vadītāju materiāla patēriņš palielināsies par (3-5)%.

Spēka līnijas baro elektrodzinējus tādām elektroiekārtām, ka: lifti, sūkņi, ventilatori un ugunsdzēšanas iekārtas.

Pie vienai līnijai var pieslēgt ne vairāk par četriem liftiem, kas uzstādīti dažādas sekcijas. Ja sekcijā ir divi lifti, tad viņus vajag pieslēgt pa atsevišķam līnijām.

Dzīvojama māja elektroietaises elektroenerģiju saņem un sadala ar speciālām elektrotehniskām iekārtām – paneļiem, skapjiem un ievada sadalēm. Šajās iekārtās ir aizejošo maģistrāļu un grupu līniju komutācijas un aizsardzības aparāti, kā arī skaitītāji patērētās elektroenerģijas uzskaitei. Dzīvojamo māju ievada sadale parādīta 5.23. attēlā, bet principiālā elektriskā shēma 5.24. attēlā.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.17. att. Dzīvojamo ēku stāvvadu shēmas: *a* — 5 līdz 9 stāvu daudzsekciju ēkām (shēma Nr.1), *b* — 9 līdz 12 stāvu viensekcijas ēkām (shēma Nr.2), *c* — 13 līdz 22 stāvu viensekcijas ēkām (shēma Nr.3), *d* — 10 līdz 22 (shēma Nr.4) |

Ievada sadale ir noslēgts metāla skapis ar augšējo un apakšējo nodalījumu (5.23. att.). Nodalījumos uzstādīti aizsardzības aparāti, atslēgšanas aparāti, patērējamās elektroenerģijas uzskaites aparāti, ieeju un kāpņu telpu apgaismes automātiskas vadības ierīce, kura sastāv no fotoreleja un magnētiskā palaidēja.

Ievada sadale paredzēta apgaismošanas un spēka slodžu saņemšanai, sadalīšanai un uzskaitīšanai ēkās, kuras baro no 400/230 V sprieguma četrvadu elektriskajiem tīkliem ar cieši zemētu neitrāli.

Ir daudz dzīvojamo māju ievada sadaļu konstruktīvo izveidojumu un shēmas. Tās cita no citas atšķiras galvenokārt ar aparātu skaitu, ievada nominālo strāvu, kā arī ar atslēgšanas un aizsardzības aparātu raksturojumiem.

Sabiedrisko ēku elektrotīkliem atšķirībā no dzīvojamo ēku tīk­liem pieslēdz daudz vairāk spēka elektrouzņēmēju. Šajā gadījumā lieto rūpnieciskās sērijas paneļus un konstruktīvi sarežģītākas ievada sadales, kuras paredzētas lielām nominālajām ievada strāvām.

Dzīvojamas ēkas elektroapgādes no atsevišķi stāvošas apakšstacijas shēmas tiek parādīti 5.18. un 5.19 attēlā.

Ja ēkas slodze atbilst III kategorijai, tad ēkā uzstāda viensekcijas ievada sadale. Ievada sadales barošana notiek no viena transformatora pa vienu barošanas līniju (5.18. att. *a*). Patērētāju apgaismes un spēka līnijas atzarojas no ievada sadales kopnes. Iespējams ievada sadales variants (5.18. att. *c*) kad revīziju un remontu var veikt bez sadales atslēgšanas. Dažreiz nepieciešams rezervēt barošanas līniju visbīstamākajā posma no apakšstacijas līdz ēkai (5.18. att. *b*). Rezerves līnija var būt pieslēgta pie cita transformatora un normāla režīmā ir atslēgta. Tādu shēmu var pielietot II kategorijas patērētāju barošanai. III kategorijas patērētājiem shēma neekonomiskā un to var pielietot izņēmuma gadījumos.

Ja ēkas slodze atbilst II kategorijai, tad ēkā uzstāda divsekcijas ievada sadale ar diviem pārslēdžiem ievadā (5.19. att.). Tādus ievada sadales parasti izgatavo uz nominālām strāvām līdz 630 A.

Barošanas līnijas izvēlas ar nosacījumu ka avārijas gadījumā izies no ierindā viena līnija un otra līnija būs pārslogota līdz 115 % kabeļiem ar PVC izolāciju un līdz 100 % kabeļiem ar polietilēna izolāciju. Pie tam pēcavārijas režīma strāva neplūst caur aizsardzības un uzskaites iekārtam. Barošanas līnijas labākais režīms ja abi kabeļi noslogoti vienmērīgi. Ja apgaismes slodze mazāka par 50 %, tad no vienas sadales sekcijas var barot darba apgaismojumu un daļu no spēka slodzes, bet no otas sekcijas – avārijas apgaismojumu un pārējo spēka slodze.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.18. att. Ēkās elektroapgādes shēma ar III kategorijas patērētājiem: *a* – viena barošanas līniju; *b* – divas barošanas līnijas; *c* – ievada sadales variants; 1 - transformatoru apakšstacija; 2 – barošanas līnija; 3 – ievada sadale; 4 - elektroenerģijas sadales robeža ar elektroapgādes organizācijai; 5 – elektroenerģijas skaitītājs; 6 – avārijas apgaismojuma panelis. |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.19. att. Dzīvojamas ēkās elektroapgādes shēma ar II kategorijas patērētājiem:  1 – transformatoru apakšstacija; 2 – barošanas līnijas; 3 – ēkas ievada sadale;  4 – elektroenerģijas sadales robeža ar elektroapgādes organizācijai;  5 – elektroenerģijas skaitītājs. |

Barošanas līnijas izvēlas ar nosacījumu ka avārijas gadījumā izies no ierindā viena līnija un otra līnija būs pārslogota līdz 115 % kabeļiem ar PVC izolāciju un līdz 100 % kabeļiem ar polietilēna izolāciju. Pie tam pēcavārijas režīma strāva neplūst caur aizsardzības un uzskaites iekārtam. Barošanas līnijas labākais režīms ja abi kabeļi noslogoti vienmērīgi. Ja apgaismes slodze mazāka par 50 %, tad no vienas sadales sekcijas var barot darba apgaismojumu un daļu no spēka slodzes, bet no otas sekcijas – avārijas apgaismojumu un pārējo spēka slodze.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.20. att. Pārejas pārbaudes kārba (PKK)  elektroenerģijas skaitītāja ieslēgšanai trīsfāžu  tīklā |

Elektroenerģijas uzskaitei uzstāda trīsfāžu elektroenerģijas skaitītāju, kuru ieslēdz caur strāvas transformatoru ar pārejas pārbaudes kārbas (PKK) izmantošanu (5.20. att.). Ar PKK var saslēgt īsi strāvas transformatora sekundāros tinumus vai atslēgt fāzes spriegumus skaitītājam lai to nomainīt, vai pārbaudīt skaitītāju ar parauga skaitītāju bez slodzes atslēgšanu. Skaitītāja un pārejas pārbaudes kārbas (PKK) ieslēgšanas shēma parādīta 5.21.attēlā.

Ja tīkla aizsardzībai izmanto automātslēdžus, tad pirms viņiem jāuzstāda svirslēdžus lai būtu skaidri redzama tīkla pārtrūkšana.

Aparatūras izvietojumu dzīvojamas ēkas daudzsekcijas sadales aparatūras var redzēt 5.22. attēlā, bet ārējo izskatu 5.23. attēlā.

|  |
| --- |
|  |

5.21. att. Trīsfāžu skaitītāja un PKK ieslēgšanas shēma

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |
| ***c*** | ***d*** |

5.22. att. Aparatūras izvietojums daudzsekcijas sadales: *a* – ar vienu ievadu; *b* – uzskaites sadale ar vienu ievadu; *c* – ar diviem ievadiem; *d* – uzskaites un apgaismes vadības sadale ar barošanu no diviem ievadiem; 1 – sadales bloka aparatūras spailes; 2 – aizsardzības aparāts; 3 – aizsardzības aparatūras spailes; 4 – sadales kopne; 4 - saliekamas kopnes (fāžu); 5 – vadības aparāts; 6 – pārvienojumi; 7, 8 – saliekamas kopnes (N un PE); 9, 10 – starp paneļu pārvienojumi (N un PE); 11 – potenciālu izlīdzināšanas spaile; 12 – sadales korpuss; 13 – uzskaites aparāti; 14 – divu ievadu šķērssiena; 15 – apgaismes vadības bloks; 16 – apgaismes vadības bloka aparatūra.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

5.23. att. Dzīvojamas ēkas ievada sadales ar strāvu līdz 630 A ārējais izskats

Principiālā shēma 16 stāvu dzīvojama māja parādīta 5.24. attēlā.

|  |
| --- |
|  |

5.24. att. Viensekcijas 16 stāvu dzīvojama māja principiālā shēma: 1 – kabeļu ievadi; 2 – pārslēdzi; 3 – drošinātāji; 4 – strāvas transformatori; 5 - elektroenerģijas skaitītājs; 6 - drošinātājs kondensatoru aizsardzībai; 7 - kondensatori; 8 – automātslēdži; 9 – stāvvads; 10, 13 - stāvu dzīvokļu sadales; 11 – paketslēdzis; 12 – dzīvokļu skaitītāji; 14 – ventilatori; 15 – lifti; 16 – sekcijas automātslēdzis;

Pie stāvvada pieslēgti dzīvokļu stāva grupu sadales. Lai samazinātu vadu patēriņu, parasti pie vienas grupas sada­les (5.25. att.) pieslēdz gan apgaismes elektrouzņēmējus, gan kontaktrozetes.

5.26. attēlā paradīta ēkas kopēja elektroapgādes shēma ar trim barošanas avotiem. Trešais rezerves barošanas avots – dīzeļelektrostacija. 1 (A) un 2 (B) grupas patērētājus baro no diviem neatkarīgiem ievadam 1 un 2 ar automātiskas rezerves ieslēgšanas sistēmu (10). 3 grupas (C) patērētājus baro no divām neatkarīgiem ievadām arī ar automātiskas rezerves ieslēgšanas sistēmu. A grupas patērētājiem paredzētas nepārtrauktas barošanas sistēmu uzstādīšana.

|  |
| --- |
|  |

5.25. att. Grupu līnijas sadales principiāla shēma (stāvu grupu sadale uz četriem dzīvokļiem): 1 – barošanas līnija; 2 – sadales metāliskais apvalks; 3,4,5 – stāvvada spailes; 6,7 – spailes N un PE vadiem ievada uz dzīvokļiem; 8,9 – dzīvokļu grupu līnijas N un PE spailes; 10 – spailes vadiem potenciālu izlīdzināšanai; 11 — kopne N vadiem; 12— kopne PE vadiem; 13 — kopne fāzes vadiem; 14 — zemēšanas zīmējums pie spailēm; 15 — strāvas noplūdes automāts; 16 — svirslēdzis vai atvienotājs; 17— automātslēdži; 18 — skaitītājs; 19 — stāvvada automātslēdzis; 20 — grupu līnijas ķēdes.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.26. att. Ēkas elektroapgādes sistēma ar 1. kategorijas īpašas grupas patērētājiem |

Elektroenerģijas slodžu saņemšanai un sadalīšanai paredzēta galvenā sadale. Galvenā sadale sastāv no:

- diviem ievada automātslēdžiem 8;

- rezerves dīzeļelektrostacijas 10 automātslēdža 11;

- vienas sekcijas automātslēdža 9;

- kompensācijas iekārtas diviem automātslēdžiem 12;

- sadales automātslēdžiem 6 ar diviem kopnes sekcijām 4 un 5 .

Katrā sekcija 4 и 5 saņem elektroenerģiju no augstsprieguma kabeļiem 1 un 2 no transformatoriem 3.

Ekonomiskie ap­rēķini ir pierādījuši, ka izdevīgi iebūvēt transformatoru punktus ēkās, ja kopīgā slodze pārsniedz 250 kVA. Tomēr no ugunsbīstamības viedokļa ir aizliegts iebūvēt transformatoru punktus skolās un kopmītnēs, bērnudārzos, internātos, slimnīcās utt.

Transforma­toru punktus parasti izbūvē pirmajā stāvā. Ja ir sausie transforma­tori vai arī transformatori ar nedegošu izolāciju, tad transformatoru punktus var izbūvēt vidējos vai augšējos ēku stāvos. Transforma­toru skaita un jaudas izvēli nosaka, veicot tehniski ekonomiskos aprēķinus. Parasti iebūvētajās apakšstacijās uzstāda divus transfor­matorus. Relatīvi mazās ēkās, kur ir tikai otrās un trešās kategorijas elektrouzņēmēji, uzstāda tikai vienu transformatoru.

Kaut gan visus elektrouzņēmējus baro no viena transforma­tora punkta, parasti ir lietderīgi spēka un apgaismes tīklus ierīkot atsevišķi. Spēka elektrouzņēmējus pievieno pie sadales punktiem, ievērojot to tehnoloģiskās īpatnības. Lai samazinātu vadu patēriņu, ir pieļaujams nelielas jaudas elektrouzņēmējus saslēgt ķēdē. Pēc šādas shēmas (sk. 5.17. att. *d*) drīkst slēgt

1. sabiedriskās ēdināšanas un tirdzniecības uzņēmumos — ne vairāk kā četrus elektrouzņēmējus ar jaudu līdz 3 kW;
2. mācību iestāžu darbnīcās — ne vairāk kā piecas darbmašīnas;
3. mācību iestāžu laboratorijās — līdz trīs laboratoriju sadalēm.

**5.5.3. IEKŠĒJO TĪKLU KONSTRUKTĪVAIS IZVEIDOJUMS**.

Sabiedrisko un dzīvojamo ēku elektriskajos tīklos izmanto visdažādākās sadales, slēgdēļus un skapjus. Praksē izmanto kā komplektas iekārtas ar iemon­tētiem komutācijas un aizsardzības aparātiem, elektroenerģijas skai­tītājiem un dažāda veida automātiku, tā arī moduļu iekārtas. Ēku konstruktīvo daļu sērijražošana ir radījusi priekšnoteikumus elektroiekārtu unifikācijai. Pašlaik rūpniecība ražo plašu visdažādāko elektroiekārtu klāstu.

Ievadsadales tipu izvēlas pēc ārējo barošanas līniju skaita un ap­lēses strāvām (100, 250, 400 vai 630 A nominālās strāvas sadales), turklāt bieži vien ievadsadales komplektē no atsevišķiem skapjiem vai skapju blokiem, piemērām, sadales skapji Profi Line sistēmas (5.27. att.).

Dzīvojamas mājas grupu sadales tīklos var izmantot sistēmas no atsevišķiem skapjiem vai skapju blokiem, piemērām, skapji Prisma Pack (5.28. att.).

Spēka sadales un slēgdēļus savukārt iedala pēc

1. aizejošo līniju komutācijas aparatūras (drošinātāji vai automāti) ;
2. elektrisko savienojumu shēmas (četrvadu, trīsvadu vai divvadu aizejošās līnijas ar vai bez ievadaparatūras);
3. aizsardzības pakāpes pret apkārtējās vides iedarbību;
4. uzstādīšanas veida (piekaramie, sienā iegremdējamie).

Vadu markas un to instalācijas veids iekšējiem tīkliem ir jāizvēlas saskaņā ar standartu EN 60364 – IEC 60364 „Elektriskā instalācija ēkās” vai EIN prasībām. Ja līniju trases iet pa dažādiem telpu elementiem (zem vai virs sienas apmetuma, pārsegumiem, blo­kos, caurulēs utt.), vadu marku izvēlas pēc smagākajiem eksplua­tācijas apstākļiem. Jāpiebilst, ka parasti rekomendē lietot vadus ar polivinilhlorīda izolāciju.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

5.27. att. Ievadsadales skapis SVTL (a) ar montāžas rāmi Profi Line (b)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

5.28. att. Firmas „Schneider Elecrtik” zemsprieguma sadales skapis Prisma Pack

(konfigurācija 80 A)

Atsevišķu dzīvokļu grupām var būt vienfāzes tīkli (ekonoma un biznesa klases dzīvokli) vai trīsfāžu četrvadu tīkli arī atsevišķiem dzīvokļiem it īpaši dzīvokļiem ar paaugstinātu komfortu (5.29 un 5.30. att.). Šādiem tīkliem obligāti jānodrošina tīkla aizsargatslēgšanās un aizsardzību pret noplūdes strāvām.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.29. att. Dzīvokļu elektroapgādes shēma ar zemēšanas sistēmu TN-C-S (vienfāzes tīkls) |

|  |
| --- |
|  |

5.30. att. Dzīvokļu elektroapgādes shēma ar zemēšanas sistēmu TN-C-S (trīsfāžu tīkls):

1 – elektriskais plīts; 2 – virtuves kontaktligzdas; 3 - vannas istabas kontaktligzdas; 4 – džakuzi, siltas grīdas; 5 – istabas kontaktligzdas; 6 – apgaismojums; 7 - kondicionētājs, rezerve

Dzīvoklī ir atļauts ierīkot atsevišķu grupas sadali kontaktrozetēm ar strāvu līdz 32 A. Nepie­ciešamais kontaktrozešu skaits ir atkarīgs no istabu, virtuves un palīgtelpu platības. Lai sanullētu stacionārās elektroplīts un citas sadzīves elektroiekārtas, ir jāizbūvē speciāls nullvads no stāva sa­dales līdz kontaktrozetēm (5.30. att.). Nullvada un fāzes vada šķērs­griezumiem jābūt vienādiem.

Elektroiekārtas komplektāciju dzīvokļiem var nosacīti sadalīt 3 grupās:

* Komplektācijas pakāpe 1: minimāla (ekonoma) nodrošina komfortu dzīve, bet nepieļauj pieslēgšanu visos tirgu esošas elektroiekārtas
* Komplektācijas pakāpe 2: vidējā (biznesa) - pieļauj pieslēgšanu visos tirgu esošas elektroiekārtas, bet nesatur rezerve modernizācijai un jaunas iekārtas uzstādīšanai.
* Komplektācijas pakāpe 3: augstā (elite) – izgatavo pēc individuālā projekta. Pieļauj pieslēgšanu visos tirgu esošas elektroiekārtas, tajā skaitā vadības iekārtas. Instalācijai ir rezerves modernas iekārtas uzstādīšanai.

Aptuveni elektroiekārtas skaitu dzīvoklī atkarība no komplektācija pakāpi var atrast 5.6. tabulā.

Dzīvojama māja elektroietaises elektroenerģiju saņem un sadala ar speciālām elektrotehniskām iekārtām – paneļiem, skapjiem un ievada sadalēm. Šajās iekārtās ir aizejošo maģistrāļu un grupu līniju komutācijas un aizsardzības aparāti, kā arī skaitītāji patērētās elektroenerģijas uzskaitei. Dzīvojamo māju ievada sadale parādīta 5.23. attēlā, bet principiālā elektriskā shēma 5.24., 5.25. attēlā.

5.6. tabula

**Elektroiekārtu skaits dzīvoklī atkarība no komplektācija pakāpi**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **ekonoma** | | **biznesa** | | **elite** | |
| **Rozetes** | **Slēdži** | **Rozetes** | **Slēdzis+ dimeris** | **Rozetes** | **Slēdzis+ dimeris** |
| **Guļamistaba/**  **dzīvojama istaba** | **6-12 m2** | **3** | **1** | **5** | **2** | **7** | **3** |
| **12-20 m2** | **4** | **1** | **7** | **2** | **9** | **3** |
| **≥ 20 m2** | **5** | **2** | **9** | **3** | **11** | **4** |
| **Virtuve** | **≤7 m2** | **5** | **2** | **7** | **2** | **8** | **2** |
| **≥7 m2** | **7** | **2** | **9** | **3** | **11** | **3** |
| **Kabinets** |  | **4** | **1** | **7** | **2** | **9** | **3** |
| **Vannas istaba** |  | **3** | **2** | **4** | **3** | **5** | **2** |
| **Tualete** |  | **1** | **1** | **2** | **1** | **2** | **2** |
| **Koridors/**  **priekšistaba** | **Garums ≤ 2.5 m** | **1** | **1** | **1** | **2** | **1** | **3** |
| **Garums ≥ 2.5 m** | **1** | **1** | **2** | **2** | **3** | **3** |
| **Balkons, lodžija** | **Platums ≤ 3 m** | **1** | **1** | **1** | **1** | **2** | **1** |
| **Platums ≥ 3 m** | **1** | **1** | **2** | **1** | **3** | **2** |
| **Noliktava** |  | **1** | **1** | **2** | **1** | **2** | **1** |
| **Pagrabs, mansards** |  | **1** | **1** | **2** | **1** | **2** | **1** |
| **Viesistaba** |  | **3** | **1** | **5** | **2** | **7** | **2** |
| **Televīzijās rozetes** |  | **2** |  | **4** |  | **7** |  |
| **Telefona rozetes** |  | **1** |  | **3** |  | **5** |  |
| **Zvans** |  |  | **1** |  | **1** |  | **2** |
| **Elektrosadales skapis** |  | 12-24 moduļiem | | 24-36 moduļiem | | 36-48 moduļiem | |

**5.3.4. STANDARTA APRĪKOJUMS MĀJOKLIM.**

Apskatīsim ka var izvēlēt elektrosadale mājoklim ar platību 60, 100 un virs 100 m2 (5.7. tabula).

Vispirms varam izvēlēt ievadjaudu un elektrisko ķēžu skaitu.

***Vadu un aizsardzības iekārtu izvēle.***

Kontaktligzdu ķēdē vadu šķērsgriezums 2,5 mm2, maksimums 1 automātiskais slēdzis uz 8 kontaktligzdām, automātiskais slēdzis uz 16 A.

Apgaismojuma ķēdē vadu šķērsgriezums 1,5 mm2, maksimums 1 automātiskais slēdzis uz 10 kontaktligzdām, automātiskais slēdzis uz 10 A.

5.7. tabula

**Elektroiekārtu skaits mājoklī**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
| Mājokļa platība | 60 m2 | 100 m2 | >100m2 |
| Vēlamā ievadjauda | 3000 VA | 6000 VA | > 6000 VA |
| Kontaktligzdu ķēžu skaits | 2 | 3 | >3 |
| Apgaismojuma ķēžu skaits | 1 | 2 | >2 |
| Īpašo ķēžu skaits | 1 | 1 | >2 |

Īpašā ķēdē vadu šķērsgriezums 2,5 mm2, maksimums 1 automātiskais slēdzis uz vienu iekārtu (veļas mazgājamā mašīna, plīts, ūdens sildītājs u.c.), automātiskais slēdzis uz 20 A.

Kontaktligzdu, apgaismojuma un īpašas ķēdes aizsardzību pret īssavienojumu un pārslodzi nodrošina automātiskie slēdži.

Cilvēku aizsardzību no nāvējošā elektrošoka nodrošina strāvas noplūdes automāts ar maksimālo strāvu 25 vai 40 A (jutīgums 30 mA).

Ugunsdrošību visam mājoklim nodrošina strāvas noplūdes automāts ar maksimālo strāvu 40 A (jutīgums 300 mA), kas uzstādīts ievadlīnijā.

Zibensaizsardzību visam mājoklim nodrošina pārsprieguma novadītājs, kas uzstādīts ievadlīnijā.

Elektroierīču ieslēgšanai/izslēgšanai uzstādītajā laikā var izmantot programmējamo laika slēdzi (1 iekārta uz vienu kontroles ķēdi).

Lai atrast risinājumu elektrosadales ierīkošanai varam pieņemt ka mājokļa izkārtojums ir sekojošs:

Izvēlam nepie­ciešamo kontaktrozešu skaitu, kas ir atkarīgs no istabu, virtuves un palīgtelpu platības.

Pieņemsim ka 1 apgaismes līnija atbilst 20 m2.

Rezultātus sakopo 5.8. tabulā.

Elektrosadale mājoklim uz 60 m2 varam izvēlēt no shēmām 5.29., 5.32. attēlā.

No 5.31. att. redzams ka varam ņemt sadalnes uz 8 vai 12 moduļa vietām.

No 5.32. att. izriet elektroiekārtas komplektācija:

1 kombinētās strāvas noplūdes automāts (1 pols + neitrāle) C16 30 mA;

2 automātiskie slēdži (1 pols) C10;

5 automātiskie slēdži (1 pols);

elektrosadales skapis uz 12 moduļiem;

vienfāzes montāžas kopne.

Elektrosadale mājoklim ar platību *vairāk par 100 m2*varam izvēlēt no shēmām 5.30., 5.33. att. un 5.34. att.

5.8. tabula

**Elektroiekārtu skaits mājoklī**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Mājokļa platība | 60 m2 | 100 m2 | >100m2 |
| Dzīvojama  istaba | 1 kontaktligzda uz 6m2  1 apgaismes līnija uz 20 m2 | 1 kontaktligzda uz 6 m2  1 apgaismes līnija uz 20 m2 | 1 kontaktligzda uz 6 m2  1 apgaismes līnija uz 20 m2  1 īpašā nolūka kontaktligzda |
| Guļamistaba | 1 apgaismes līnija  2 kontaktligzdas | 1 apgaismes līnija  3 kontaktligzdas | 1 apgaismes līnija  3 kontaktligzdas |
| Virtuve | 1 apgaismes līnija  3 kontaktligzdas | 2 apgaismes līnijas  3 kontaktligzdas  1 kontaktligzda uz vienu elektrisko sadzīves tehnikas iekārtu | 2 apgaismes līnijas  3 kontaktligzdas  1 īpašā nolūka kontaktligzda  1 kontaktligzda uz vienu elektrisko sadzīves tehnikas iekārtu |
| Vannas istaba | 1 apgaismes līnija  1 kontaktligzda | 2 apgaismes līnijas  1 kontaktligzda | 2 apgaismes līnijas  3 kontaktligzda  1 īpašā nolūka kontaktligzda |
| Koridors | 1 apgaismes līnija  1 kontaktligzda | 1 apgaismes līnija uz 12 m2  1 kontaktligzda uz 12 m2 | 1 apgaismes līnija uz 12 m2  1 kontaktligzda uz 12 m2  1 īpašā nolūka kontaktligzda |
| Garāža | 1 apgaismes līnija  1 kontaktligzda uz 5 m2 | 1 apgaismes līnija  1 kontaktligzda uz 5 m2  1 īpašā nolūka kontaktligzda | 1 apgaismes līnija  1 kontaktligzda uz 5 m2  1 īpašā nolūka kontaktligzda |

|  |
| --- |
|  |

5.31. att. Shēma elektrosadales izvēlei.

|  |
| --- |
| 5.32. att. |

|  |
| --- |
| 5.33. att. |

|  |
| --- |
| 5.34. att. |

No 5.34. att. izriet elektroiekārtas komplektācija:

1 noplūdes automāts (4 poli) 25A 300mA;

1 automātiskais slēdzis (4 poli), 16 A (C 16);

1 izlādnis (4 poli);

3 automātiskie slēdži (1 pols), 10 A (C10);

6 automātiskie slēdži (1 pols), 16 A (C16);

2 noplūdes automāti (1 pols + neitrālis), 16 A 30 mA (C16);

1 noplūdes automāts (4 poli), 25 A 30 mA;

1 automātiskais slēdzis (3 poli), 16 A (C16);

36 moduļu elektrosadales skapis;

3 polu montāžas kopne.

Pēc tam, izmantojot dzīvokļu skice (5.35. att.), varam sastādīt instalācijas plānu (5.36. att.), instalācijas plāna elektrisko shēmu (5.37. att.) atbilstoši principiālai shēmai 5.29. att., 5.30. att. vai 5.32. att., 5.34. att. un 5.8. tabulai.

Iekšējas elektroinstalācijas plānos uzrada slēdžu, kontaktu, nozarkārbu atrašanās vietas, vadu vai kabeļu līnijas (5.35.-5.37. att.).

|  |
| --- |
|  |

5.35. att. Piemērs dzīvokļu plānam ( Piezīme: izmēri cm vai m, augstums logiem un durvīm uzreiz zem līnijām, logu atvēršanas virziens skicē neparada, izmēri skicē var zīmēt arī ka platums/augstums)

|  |  |
| --- | --- |
| 5.36. att. Piemērs dzīvokļu instalācijas plānam | 5.37. att. Piemērs dzīvokļu instalācijas plāna  elektriskajai shēmai |

**5.3.5. ĒKU VADĪBAS SISTĒMA (BUILDING MANAGEMENT SYSTEM)**

Building Management System (BMS) - ēku vadības sistēma ir mūsu nākotne. Mūsu nākotnei jākļūst vienkāršākai un līdz ar to, tehnikai arvien veiktspējīgākai, piemēram, mobilie telefoni, ar kuriem var pārlūkot globālo tīmekli, automašīnas, kas rāda mums ceļu un pašas sevi iekārto auto novietnē un tml. Arī inteliģentā ēku sistēma atvieglos mūsu dzīvi, jo atkritīs daudzas rūpes. BMS sniedz visplašākās un neiedomājamākās iespējas, kas spēj kontrolēt sistēmu mājās, kas palielinās komfortu, drošību un ietaupīs resursus (elektrību, siltumu, aukstumu, ūdeni utt.). Piemēram, ja esiet mājās atstājis vaļā logu un uznāk lietus, tad sistēma nostrādā un pati šo logu aizver. Sistēma ir saslēdzama ar dažādām sadzīves iekārtām un aparatūrām, bet apgaismojuma, karstuma, aukstuma un klimata kontrole ir inteliģentās sistēmas biežākais pielietojuma veids. Var noteikt kāda temperatūra ir katrā atsevišķā istabā un noteiktās dienās šo temperatūru mainīt. Piemēram, izejamās dienās vai darbdienas vidū ir iespējams ziemas periodā automātiski samazināt apsildīšanu temperatūru (5.38. att.).

|  |
| --- |
| 5.38. att. Vadības sistēmas privātmājām  1 – kontroles centrs; 2 - HR50 radiatoru regulators ir aprīkots ar dzinēju un ir paredzēts nepārtrauktai telpas temperatūras regulēšanai. Ierīces darbību nodrošina divas AA tipa baterijas; 3 - HCE60 silto grīdu apkures kontrolieris kontrolē un vada silto grīdu apkuri 5-8 istabās; 4 - HCVV22 distances vadības modulis uzrauga telpas temperatūru. Pastāv regulēšanas iespēja; 5 - HA30 žalūziju vadības modulis neskaitāmu variantu vadība žalūzijām un saulessargiem; 6 - HD30 apgaismojuma slēdzis neierobežoti regulē apgaismojuma intensitāti telpās un ārā; 7 - HS30 slēdžu modulis ieslēdz un izslēdz sadzīves elektriskās iekārtas, sekojot kontroles centra signāliem; 8 - HWS40 vēja sensors. pasargā saules sargus no spēcīga vēja; 9 - HB05 Saules sensors. Nosaka gaismas intensivitāti ārpusē un nosūta rezultātus vadības centram |

Tātad BMS priekšrocības būtu:

• samazinās ekspluatācijas un apkalpošanas izmaksas (apkure, apgaismojums, elektroenerģija, bojājumu vienkāršota atrašanas un novēršanas iespēja u.c.);

• palielinās komforta līmenis un laika ekonomija;

• tiek palielināta ēkas vērtība kā nekustāmajam īpašumam;

• palielinās drošības līmenis un kontroles iesējas;

Par drošību būs mazāk jāuztraucas, jo sistēmā var iekļaut signalizāciju - noziedznieki pat nevarēs pateikt kurā brīdī Jūs atrodaties mājās un kurā ne, jo sistēma spēj vadīt āra apgaismojumu, iekšējo apgaismojumu un logus pēc dažādiem scenārijiem. Ja notikusi ielaušanās vai avārijas situācija, tad iespējams nosūtīt trauksmes signālu uz attiecīgajām iestādēm vai atbildīgajām personām, kā arī uz Jūsu mobilo tālruni īsziņas veidā.

Vienotā sistēmā galvenokārt var saslēgt:

• apgaismojuma sistēmu;

• elektroenerģijas kontroles sistēmu;

• apkures sistēmu;

• ventilācijas iekārtas;

• mikroklimata iekārtas;

• kondicionēšanas iekārtas;

• apsardzes un novērošanas sistēmu;

• magnētisko karšu un piekļūšanas sistēmu;

• ugunsdzēsības aizsardzības sistēmu;

• liftus, eskalatorus u.c. iekārtas;

• citas inženiertehniskās iekārtas.

**Piemērs.** Vadības sistēmas privātmājām (ar radio vadības tehnoloģiju)

Priekšrocības. Nav nepieciešama kabeļu vilkšana un kanālu izbūve mājokļa sienās. Sistēma ideāli piemērota uzstādīšanai gan vecās, gan jaunās ēkās.

5.39. attēlā paradīta vadības iekārta ar radio viļņu tehnoloģiju. Tā spējīga kontrolēt 16 apsildāmās zonas un 32 gaismas ķermeņus, kā arī kontaktligzdas, žalūzijas, u.c. elektroierīces.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 5.39. att. HCM200 kontroles centrs |

**5.4. ELEKTROINSTALĀCIJA.**

**5.4.1.** **ELEKTROINSTALĀCIJA.**

Par elektroinstalāciju sauc elektrisko tīklu, kurš ir samontēts no izolētiem vadiem vai no maza šķērs­griezuma (līdz 16 mm2) kabeļiem bez bruņām un ar kabeļu dzīslu gumijas vai plastmasas izolāciju.

Vaļējas instalācijas gadījumā vadus novieto uz sienām, gries­tiem un iekārtu konstrukcijām. Katrā konkrētā gadījumā vaļējai elektroinstalācijai var būt atšķirīgs vadu novietojums un aizsar­dzība pret mehāniskiem bojājumiem. Visvairāk no visiem sastopa­majiem vadu novietojumiem lieto vadu novietošanu dažādās kanālos, cauru­lēs, kārbās un uz plauktiem. Ierīkojot slēgto elektroinstalāciju, va­dus novieto ēku konstruktīvajos elementos, sienās, griestos un pār­segumos, iekārtu pamatos. Vadi var būt ievietoti gan kanālos vai caurulēs, gan arī konstrukciju tukšumos vai arī tieši iebūvēti būvkonstrukcijās.

Elektroinstalācijas veidu izvēlas saskaņā ar standarts EN 60364 – IEC 60364 „Elektriskā instalācija ēkās”, IEC 60670 „Vispārējie noteikumi par slēgiekārtu korpusiem pastāvīgajām elektroietaisēm dzīvojamajām mājām un tamlīdzīgām vietām”, NE 60898-IEC 60989 „Slēgiekārtas aizsardzība no strāvas pārslodzes”, IEC 61643-1 „Pārsprieguma ražošanas iekārtas, kas pieslēgtas LV izplātīšanas tīkliem”, EN61095-IEC61095 „Elektromehāniskie slēdži”, EN61669-IEC606690 „Pastāvīgās uzstādīšanas slēdži” ka arī EIN un Celtniecības normas un noteikumi (CNuN) un norādīju­miem par elektrisko tīklu ierīkošanu dažāda rakstura telpās. To konstrukcijai jābūt tādai, lai vadus un kabeļus varētu nomainīt ekspluatācijas gaitā, jo vadi un kabeļi noveco. Atkarībā no apkār­tējās vides apstākļiem, izolācijas veida un strāvas blīvuma vadītājā elektroinstalācijas vadi jānomaina ik pēc 10-15 gadiem. Agresī­vās vīdēs vadi var novecot daudz ātrāk.

**5.4.2. IEKŠĒJAS INSTALĀCIJAS PIEDERUMI UN**

**SHĒMĀS PIEŅEMTIE APZĪMĒJUMI.**

Iekšējās instalācijas izbūvei nepieciešami dažādi piede­rumi vadu un kabeļu papildu izolēšanai, nostiprināšanai un mehā­niskai aizsardzībai.

Tērauda caurules izmanto vadu un kabeļu mehāniskai aizsar­dzībai, kur to paredz noteikumi. Cauruļu diametru izvēlas atkarībā no ievelkamo vadu skaita un šķērsgriezuma.

Ejās cauri sienām vadu papildu izolēšanai zemapmetuma insta­lācijās lieto polietilēna, vinilplasta, puscietās gumijas, gumijas-bitumena, lokanās papīra-metāla, polivinilhlorīda, plastikātu un lakotās stikla šķiedras caurules.

Normālās telpās spuldzes ieskrūvē parastās ietverēs. Pēc nostip­rināšanas veida un vietas tās iedala griestu ietverēs, sienas ietverēs un piekarietverēs.

Pārējās telpās lieto atbilstoši telpas raksturam izgatavotas arma­tūras, kuras izmantojot gaismas avotu uzstāda vajadzīgajā aug­stumā, pievada strāvu, aizsargā pret mehāniskiem bojājumiem vai vides ķīmiskās iedarbības un novirza gaismas plūsmu vēlamā vir­zienā.

Tapas (dībeļus) izmanto, lai nostiprinātu uz betona vai ķieģeļu pamatnes elektroinstalācijas montāžas detaļas un konstrukcijas. Iz­gatavo dažādas konstrukcijas tapas: tapas-skrūves — iedzen ar āmuru un izmanto noņemamu konstrukciju montāžai; tapas tapas-naglas — iedzen ar āmuru un izmanto nenoņemamu nostiprinājumu montāžai; speciālas tapas-skrūves — iedzen ar būvmontāžas pistoli. Uz skrūves uztin metāla stieples spirāli, kuru kopā ar skrūvi iecementē mūra pamatā izkaltā caurumā. Pēc javas sacietēšanas skrūvi izskrūvē, lai novietotu detaļu un to pieskrūvētu.

Izolētus vadus nostiprina uz rullīšiem un izolatoriem. PIH tipa rullīšus lieto auklas nostiprināšanai, PFI tipa rullīšus — viendzīslas vadu nostiprināšanai. Cipars rullīšu apzīmējumā nosaka šķērsgrie­zumu kvadrātmilimetros resnākajam vadam, kādu pie rullīša var piestiprināt. Mitrās telpās lieto mitrumizturīgos PCB tipa rullīšus. Ja zemapmetuma instalācijās un ejās cauri sienām vadu no cauru­les izvada virs apmetuma, to mehāniskai aizsardzībai nepieciešamas pīpītes un tillītes. Piestiprināšanas skavas izgatavo divpusējas un vienpusējas. Sevišķi mitrās telpās instalāciju izveido ar izolētiem vadiem uz izolatoriem, ko pie griestiem montē uz enkuriem vai pusenkuriem.

Vadus savieno nozarkārbās. Izgatavo nozarkārbas sausām tel­pām, hermētiskas nozarkārbas mitrām telpām, kā arī zemapmetuma nozarkārbas. Izgatavo arī virsapmetuma un zemapmetuma sienas kontaktus. Mitrām telpām un ārējai instalācijai izgatavo hermētis­kus sienas kontaktus. Darbarīku pieslēgšanai lieto speciālus sienas kontaktus ar zemēšanas spaili.

Slēdžus izgatavo gan virsapmetuma, gan zemapmetuma instalā­cijām. Sausām telpām un mitrām telpām izgatavo hermētiskos slē­džus. Slēdžus iedala vienkāršos slēdžos, grupas slēdžos un pārslēgos. Apgaismes armatūru pievienošanai pie instalācijas vadiem lieto griestu rozetes. Gaismekļu piekāršanai pie griestiem izmanto griestu āķus.

Vadu un kabeļu līnijas, elektroinstalācijas piederumus instalā­ciju plānos attēlo ar nosacītiem apzīmējumiem (5.9. tab.).

5.9. tabula

**Instalācijas shēmās pieņemtie apzīmējumi**

|  |  |
| --- | --- |
| **Nosaukums.** | **Apzīmējums** |
| 380 V, 50 Hz maiņstrāvas līnija ar kabeli, kas likts pa sienu AAB 3X120 |  |
| Zemēšanas līnija |  |
| Metāla konstrukcija, ko izmanto par zemēšanas maģistrāli |  |
| Zemētāji |  |
| Vadības ķēdes līnija |  |
| Televīzijas līnija |  |
| Avārijas apgaismojuma un dežūrapgaismojuma tīklu līnija |  |
| 42 V un zemāka sprieguma līnija |  |
| Instalācija ar lokanu kabeli |  |
| Instalācija caurulēs, ja caurule novietota segti (betonā, grīdā, zemē utt.), uzrādot novietošanas augstumu |  |
| Instalācija caurulēs, ja instalācija izveidota atklāti |  |
| Instalācija caurulēs, ja instalācija izveidota zem pārse­gumiem, laukumiem |  |
| Kailu kopņu, lentu vai vadu līnija | ***t*** |
| Kabeļu kanāls |  |
| Kabeļu tranšeja |  |
| Kabeļu bloks |  |
| Kabeļu aka |  |
| Kabeļu tunelis |  |
| Vertikālā instalācija: a — līnija pienāk no apakšas, b — līnija pienāk no augšas, c — līnija virzīta no augšas uz leju |  |
| Nozarkārba |  |
| Nozarkārba bez spailēm |  |
| Komutācijas vai vadības sadale, skapis vai pults (vis­pārīgs apzīmējums) |  |
| Sadales punkts vai skapis |  |
| Darba apgaismojuma grupas slēgdēlis |  |
| Avārijas apgaismojuma grupas slēgdēlis |  |
| Slēdža vispārīgs apzīmējums |  |
| Slēdzis ar laika kavējumu |  |
| Vienpola slēdzis |  |
| Divpolu slēdzis |  |
| 5.9. tabulas turpinājums | |
| **Nosaukums** | **Apzīmējums** |
| Trīspolu slēdzis |  |
| Divpolu pārslēgs divos virzienos |  |
| Grupas pārslēgs |  |
| Daudzpozīciju pārslēgs |  |
| Sienas kontakts (vispārīgs apzīmējums) |  |
| Divkāršs sienas kontakts |  |
| Sienas kontakts ar slēdzi |  |
| Kontakts, kurā kontaktdakšu var ieslēgt tikai vienā no­teiktā stāvoklī |  |
| Vājstrāvas spraudkontaktu savienojums ar n poliem  Apgaismošanas armatūra ar kvēlspuldzēm: |  |
| a) piekararmatūra |  |
| b) sienas |  |
| c) griestu |  |
| d) iebūvēta |  |
| Apgaismošanas armatūra ar luminiscences spuldzēm:  a) piekararmatūra |  |
| b) sienas |  |
| c) griestu |  |
| d) iebūvēta |  |
| Līnija ar luminiscences armatūrām |  |
| Armatūra ar HQL vai ДРЛ spuldzi |  |
| Prožektors |  |
| Signālarmatūra |  |
| Armatūra avārijas izejas norādīšanai |  |
| Elektroenerģijas patērētājs: a — patērētāja numurs pēc plāna; b — nominālā jauda |  |
| Instalācija metāla caurulēs | **T** |
| Instalācija plastmasas caurulēs | **Π** |
| Instalācija lokanās metāla caurulēs | **Mp** |
| Instalācija uz izolatoriem | **И** |
| Instalācija pie trosēm | **Te** |
| Armatūras uzstādīšanas dati: a — armatūrā uzstādīto spuldžu jauda; b — armatū­ras piekāršanas augstums virs grīdas |  |
| Uzraksti pie apgaismošanas barošanas tīkla līnijām: a - aprēķina slodze; b‒ aprēķina strāva; c‒ posma garums; d‒ jaudas moments; e— sprieguma zudums līnijā; f— vada vai kabeļa marka; g— vada vai ka­beļa šķērsgriezums; h — instalācijas veids |  |
| Prožektoru masts (M), tornis (B) uz ēkas jumta:  Nr. — numurs pēc plāna; a — kopējā uzstādītā jauda; b — prožektora uzstādīšanas augstums; d — torņa augstums |  |

**5.4.3. TELPU IEDALĪJUMS.**

Telpas, kurās ierīko apgaismošanas un spēka instalācijas, iedala atkarībā no vides rakstura.

1. Sausās telpās relatīvais gaisa mitrums nepārsniedz 60 % (pie­mēram, dzīvojamās mājas, kopmītnes, kantori, klubi, liellopu fermu atpūtas istabas). Ja šādās telpās nav augstas temperatūras (virs 30°C), tehnoloģiskā procesā nerodas putekļi, nav ķīmiski aktīvas vides, tās sauc par normālām.
2. Mitrās telpās tvaiks jeb kondensējošais mitrums izdalās zināmu laiku nelielos daudzumos un relatīvais gaisa mitrums ir 60...75 % (piemēram, dzīvojamo māju virtuves, priekštelpas, neapkurinā­tas telpas).
3. Telpās ar paaugstinātu mitrumu relatīvais gaisa mitrums ilgstoši pārsniedz 75 % (piemēram, sabiedriskās virtuves, katlu telpas, pagrabi, fermas).
4. Sevišķi mitrās telpās relatīvais gaisa mitrums tuvs 100 %, griesti, sienas, grīda un telpā esošie priekšmeti pārklāti ar mitrumu(piemēram, pirtis, veļas mazgātavas, mehānisko darbnīcu mazgā­tavas). :
5. Karstās telpās temperatūra ilgstoši pārsniedz 30 °C (piemē­ram, kaltes).
6. Putekļainās telpās ražošanas procesā izdalās putekļi tādā daudzumā, ka tie pārklāj vadus, iekļūst elektriskajās mašīnās, aparātos (piemēram, galdnieku darbnīcas, dzirnavas). Putekļus iedala strāvu vadošos un nevadošos.

7. Telpās ar ķīmiski aktīvu vidi ražošanas procesā ilgstoši izda­lās tvaiks, rodas nosēdumi, kuri graujoši iedarbojas uz elektroiekār­tas izolāciju, strāvu vadošajām daļām (piemēram, govju, teļu, cūku, zirgu fermas, ja tajās nav ierīkota mākslīgā ventilācija).

8. Sprādziennedrošās telpās tehnoloģiskajā procesā var rasties sprādziennedroši degošu gāzu vai tvaiku un gaisa vai skābekļa mai­sījumi; degošu putekļu vai šķiedrvielu un gaisa maisījumi, ja putekļi vai šķiedrvielas pāriet gaistošā stāvoklī.

Atkarībā no ugunsdrošības apstākļiem lauksaimniecībā izmanto­jamās telpas iedala šādi:

1. ugunsnedrošas telpas, kur uzglabā degošus šķidrumus, kuru uzliesmošanas temperatūra ir augstāka par 45°C (piemēram, minerāleļļu noliktavas);
2. ugunsnedrošas telpas, kur gaisā atrodas degoši putekļi un šķiedras (koncentrētās barības uzglabāšanas telpas, dzirnavas, rupjās barības sasmalcināšanas telpas u. c);
3. ugunsnedrošas telpas, kurās atrodas degošas vielas, kas nerada putekļus (noliktavas, rupjās barības noliktavas);

d) ugunsnedrošas telpas— āra iekārtas, kuras lieto vai uzglabā degošus šķidrumus ar uzliesmošanas temperatūru, kas aug­stāka par 45°C, vai ari cietā kurināmā noliktavas.

Telpas klasificē ari pēc elektriskās strāvas bīstamības cilvēkam:

1. telpas ar paaugstinātu bīstamību raksturo viens no apstākļiem, kas paaugstina tās bīstamību: mitrums vai strāvu vadoši pu­tekļi, strāvu vadošas grīdas (dzelzsbetona, zemes, ķieģeļu), augsta temperatūra, iespēja vienlaikus pieskarties pie zemētām strāvu va­došām daļām un elektroiekārtu metāla korpusiem;
2. sevišķi bīstamas telpas raksturo viens no apstākļiem: 1) sevišķi liels mitrums, 2) ķīmiski aktīva vide, 3) divi vai vairāki telpas, bīstamību paaugstinoši apstākļi;
3. telpas bez paaugstinātas bīstamības — ja nav neviena no ap­stākļiem, kas rada paaugstinātu vai sevišķu bīstamību.

**5.4.4. VISPĀRĪGAS PRASĪBAS ELEKTROINSTALĀCIJAI UN TĀS**

**IZBŪVES NOTEIKUMI**

Par elektroinstalāciju sauc vadu un kabeļu, to nostiprinā­šanas elementu, balstošo un aizsargājošo konstrukciju kopumu, kas izvietots noteiktā kārtībā un veido apgaismošanas un spēka tīklus. Izveidojot instalāciju, jāievēro darba un apkalpes personāla drošība. Instalācijai jābūt ekonomiskai, tā nedrīkst pasliktināt telpas izskatu. Dzīvojamās un sabiedriskās telpās instalācija jāierīko tā, lai tā ne­izdalītos uz sienu un griestu fona. Vadi jānovieto paralēli un iespē­jami tuvāk sienu un griestu savienošanās līnijām, durvju un logu ailām. Vadu un kabeļu aizsargapvalkiem jābūt ar pietiekamu mehā­nisko un ķīmisko izturību, - tiem jāatbilst telpas raksturam.

Telpās ar paaugstinātu mitrumu, mitrās un sevišķi mitrās telpās instalācija jācenšas ierīkot tā, lai vadu garums būtu minimāls. Tā, piemēram, instalācijas vadus sevišķi mitrā telpā novieto telpas ār­pusē, bet pašā telpā novieto tikai gaismekļus un pievadus tiem. Jā­ievēro, ka nedrīkst ierīkot segto instalāciju pa karstām virsmām — dūmvadiem, siltiem mūriem. Ja ierīko atklāto instalāciju karstu cau­ruļvadu un dūmvadu zonā, apkārtējā gaisa temperatūra nedrīkst pārsniegt 35 °C.

Atklāto instalāciju ierīko pa sienu un griestu ārējām virsmām ar neaizsargātiem izolētiem vadiem, kailvadiem, aizsargātiem izolētiem vadiem izolācijas vai metāla caurulēs un kabeļiem. Segto instalāciju ierīko ar speciāliem vadiem zem apmetuma vai konstrukciju rievās un renēs, kā arī ar kabeļiem vai izolētiem vadiem izolācijas un me­tāla caurulēs.

Dzīvojamās un sabiedriskās telpās jāierīko segtā instalācija, jo tā nebojā telpas iekšējo apdari, neaizklāj sienas un griestus, vadi aizsargāti pret mehāniskiem bojājumiem. Segtā instalācija ir dār­gāka, bojājumu grūtāk remontēt. Tāpēc daudzos gadījumos dod priekšroku atklātajai instalācijai. Elektroinstalāciju izvēlas atkarībā no telpu rakstura

Aizsargātus izolētus vadus, izolētus vadus un kabeļus, kas novie­toti metāla caurulēs vai kanālos, metāla apvalkos, kā arī kabeļus, kas pare­dzēti smagiem darba apstākļiem, var instalēt jebkurā augstumā no grīdas.

Ja neaizsargāts izolēts vads šķērso neaizsargātu vai aizsargātu vadu un attālums starp tiem ir mazāks par 10 mm, šķērsojuma vietā uz neaizsargātā vada jānovieto papildu izolācija.

Ja neaizsargāts vai aizsargāts vads, kabelis šķērso cauruļvadu, attālumam jābūt vismaz 50 mm, bet ja caurulē ir degošs vai viegli uzliesmojošs šķidrums vai gāze, attālumam jābūt vismaz 100 mm. Ja attālums no vada vai kabeļa līdz cauruļvadam ir mazāks par 250 mm, vadi un kabeļi papildus jāaizsargā pret mehāniskiem bo­jājumiem 250 mm garumā uz katru pusi no cauruļvada. Ja vadi vai kabeļi montēti paralēli cauruļvadiem, attālumam jābūt vismaz 100 mm, bet, ja montēti paralēli cauruļvadiem, kuros ir degoši vai viegli uzliesmojoši šķidrumi, gāzes, attālumam jābūt vismaz 400 mm.

Ja vadi vai kabeļi montēti paralēli karstiem cauruļvadiem vai šķērso tos, vadi un kabeļi jāaizsargā pret augstas temperatūras iedar­bību vai jāizmanto speciāla izpildījuma vadi vai kabeļi.

Ejas cauri sienām, starpstāvu pārsegumiem jāizveido tā, lai va­dus vai kabeļus varētu nomainīt. Izveidojot ejas cauri sienām, ne­aizsargāti vadi jānovieto puscietās caurulēs. Cauruļu galos jānostiprina porcelāna vai plastmasas tillītes (sausās telpās), pīpītes (mitrās telpās). Izvadot vadus cauri sienai sausā telpā, atļauts vadus novietot vienā caurulē. Ja vadus izvada no sausas telpas mitrā, no mitras telpas mitrā, katrs vads jānovieto savā caurulē. Ja telpās ir atšķirīga temperatūra, jālieto pīpītes, ko aizlej ar izolējošu kompaundu.

Sķērsojoties izolētiem vadiem, uz tiem šķērsojuma vietā jāuzmauc izolācijas caurules vai ari viens vads jāiemontē sienā. Izvadot vadus cauri griestiem no viena stāva otrā, vadi jānovieto caurulē vai spe­ciāli izveidotās ailās.

380/220 V sprieguma tīklu izbūvei lieto vadus, auklas un kabeļus, kuru izolācija iztur 550 V spriegumu. Izņēmums ir divdzīslu savītais auklas vads, tā izolācija iztur 380 V spriegumu.

Pārnesamo mājtu­rības aparātu pievienošanas auklas izolācija iztur 220 V spriegumu.

Nullvada izolācijai jābūt līdzvērtīgai ar fāzes vada izolāciju.

Normālās telpās atļauts lietot savītus divdzīslu vadus uz rullī­šiem. Metāla caurulēs atļauts lietot speciālus vadus. Mitrās un sevišķi mitrās telpās jālieto vadi ar mitrumizturīgu izolāciju. Pār­nesamu un pārvietojamu elektroenerģijas patērētāju pieslēgšanai lieto šim nolūkam izveidotus lokanus kabeļus ar vara dzīslām.

Vadu savienojumu vietas nedrīkst būt mehāniski noslogotas. Va­dus var savienot ar skrūvi vadu savienošanas nozarkārbās, kā arī uzspiežot savienojuma vietā čaulu, vadus savijot un pēc tam sametinot vai aplodējot.

Ja vadus savieno savā starpā vai pievieno apa­ratūrai vai elektroiekārtai ar skrūvi, viendzīslas vadiem ar apaļknaiblēm izveido cilpu, bet daudzdzīslu vadiem uzspiež vai pielodē kabeļu kurpi.

Vadu metināšanai izmanto pazeminātu spriegumu: 9, 12, 24 vai 36 V un ogles elektrodus. Metināšanas spriegumu izvēlas atkarībā no vada vai kabeļa dzīslas šķērsgriezuma un materiāla. Tā, piemēram, 2,5 mm2 šķērsgriezuma alumīnija dzīslas var sametināt bez kušņu lietošanas, ja par elektrodu izmanto 5 mm diametra ogles stienīti un 9 V spriegumu. Vadiem 3...4 cm attālumā no gala no­ņem izolāciju, vadus savij, lai savienojuma vietai būtu pietiekama mehāniskā izturība, notīra oksīdu kārtiņu un sametina. Izkusušais alumīnijs vada galā veido lodīti. Lai tā sacietētu, pārtrauc strāvas ķēdi un elektrodu noņem tikai pēc alumīnija atdzišanas. Pretējā gadījumā izkusušais alumīnijs nopil un savienojuma vieta neveidojas pietiekams elektriskais kontakts.

Slēdžus novieto 1,5…1,8 m, sienas kontaktus — 0,8…1 m aug­stumā virs grīdas. Skolās un bērnudārzos kontaktus ierīko 1,8 m augstumā. Slēdžus novieto pie ieejas telpās tā, lai tos nenosegtu ar atveramām durvīm. Sienas kontaktus novieto uz starpsienām vai pie logiem. Sadales ar drošinātājiem montē neaizslēdzamās telpās, kas pieejamas apskatei. Sadales ar slēdžiem un skaitītājiem uzstāda 1,4…1,7 m augstumā.

**5.4.5. IEKŠĒJĀS INSTALĀCIJAS PIEDERUMI.**

Iekšējās instalācijas izbūvei nepieciešami dažādi piede­rumi vadu un kabeļu papildu izolēšanai, nostiprināšanai un mehā­niskai aizsardzībai.

Tērauda caurules izmanto vadu un kabeļu mehāniskai aizsar­dzībai, kur to paredz noteikumi. Cauruļu diametru izvēlas atkarībā no ievelkamo vadu skaita un šķērsgriezuma.

Ejās cauri sienām vadu papildu izolēšanai zemapmetuma insta­lācijās lieto polietilēna, vinilplasta, puscietās gumijas, gumijas-bitumena, lokanās papīra-metāla, polivinilhlorīda, plastikātu un lakotās stikla šķiedras caurules.

Normālās telpās spuldzes ieskrūvē parastās ietverēs. Pēc nostip­rināšanas veida un vietas tās iedala griestu ietverēs, sienas ietverēs un piekarietverēs.

Pārējās telpās lieto atbilstoši telpas raksturam izgatavotas arma­tūras, kuras izmantojot gaismas avotu uzstāda vajadzīgajā aug­stumā, pievada strāvu, aizsargā pret mehāniskiem bojājumiem vai vides ķīmiskās iedarbības un novirza gaismas plūsmu vēlamā vir­zienā.

Tapas (dībeļus) izmanto, lai nostiprinātu uz betona vai ķieģeļu pamatnes elektroinstalācijas montāžas detaļas un konstrukcijas. Iz­gatavo dažādas konstrukcijas tapas: tapas, tapas-skrūves —tapas-naglas. Uz skrūves uztin metāla stieples spirāli, kuru kopā ar skrūvi iecementē mūra pamatā izkaltā caurumā. Pēc javas sacietēšanas skrūvi izskrūvē, lai novietotu detaļu un to pieskrūvētu.

Izolētus vadus nostiprina uz rullīšiem un izolatoriem. viena tipa rullīšus lieto auklas nostiprināšanai, cita tipa rullīšus — viendzīslas vadu nostiprināšanai. Cipars rullīšu apzīmējumā nosaka šķērsgrie­zumu kvadrātmilimetros resnākajam vadam, kādu pie rullīša var piestiprināt. Mitrās telpās lieto mitrumizturīgos rullīšus. Ja zemapmetuma instalācijās un ejās cauri sienām vadu no cauru­les izvada virs apmetuma, to mehāniskai aizsardzībai nepieciešamas pīpītes un tillītes. Piestiprināšanas skavas izgatavo divpusējas un vienpusējas. Sevišķi mitrās telpas instalāciju izveido ar izolētiem vadiem uz izolatoriem, ko pie griestiem montē uz enkuriem vai pusenkuriem.

Vadus savieno nozarkārbās. Izgatavo nozarkārbas sausām tel­pām, hermētiskas nozarkārbas mitrām telpām, kā arī zemapmetuma nozarkārbas. Izgatavo arī virsapmetuma un zemapmetuma sienas kontaktus. Mitrām telpām un ārējai instalācijai izgatavo hermētis­kus sienas kontaktus. Darbarīku pieslēgšanai lieto speciālus sienas kontaktus ar zemēšanas spaili.

Slēdžus izgatavo gan virsapmetuma, gan zemapmetuma instalā­cijām. Sausām telpām un mitrām telpām izgatavo hermētiskos slē­džus. Slēdžus iedala vienkāršos slēdžos, grupas slēdžos un pārslēgos. Apgaismes armatūru pievienošanai pie instalācijas vadiem lieto griestu rozetes. Gaismekļu piekāršanai pie griestiem izmanto griestu āķus.

**5.4.6. KABEĻU LĪNIJAS.**

Kabeļus cehu iekšējos tīklos izmanto ļoti plaši gan ceha sadaļu barošanai no galvenās transformatoru apakš­stacijas sadales, gan atsevišķu elektrouzņēmēju pieslēgšanai sada­lēm vai kopņvadiem. Galvenā kabeļu priekšrocība salīdzinājumā ar citiem iekšējo tīklu elementiem ir iespēja tos izvietot praktiski jeb­kurā vidē (izvēloties attiecīgas markas kabeļus) un parasti nodro­šināt visīsāko ceļu no barošanas punkta līdz patērētājam (sadalei, elektrouzņēmējam). Kabeļus, tāpat kā elektroinstalācijas vadus, var novietot atklāti vai likt tranšejās, kanālos, tuneļos, uz estakādēm, galerijās. Ja kabeļus novieto atklāti, ir jācen­šas apvienot dažādas kabeļu līnijas, tā būtiski samazinot nepiecie­šamo telpas apjomu.

**6. NODAĻA**

**ĪSSLĒGUMA STRĀVAS**

**6.1. PAMATJĒDZIENI**

Par ī*sslēgumu* jeb īssavienojumu sauc jebkuru savienojumu starp elektroietaises fāzēm jeb poliem, ja šis savienojums neatbilst nor­mālam darba režīmam, bet sistēmās ar zemētu neitrāli arī tāda paša rakstura savienojumus starp fāzi un zemi vai fāzi un nullvadu.

*Īsslēguma cēloņi.*Īsslēgumu cēloni vispirms ir elektroietaišu izolācijas bojājumi, ko izsauc:

– izolācijas novecošanās elektroiekārtas darba procesā,

– tiešie zibens triecieni, pārspriegumi,

– mehāniskie bojājumi, nepiederošo priekšmetu nokļūšana uz strāvu vadošās daļas,

– negabarīta mehānisma iebraukšana zem līnijas,

– neapmierinoša elektroiekārtu aprūpe,

– kļūdas apkalpojošā personāla rīcībā (piemēram strāvas ķēžu atslēgšana ar atdalītāju, ķēdes ieslēgšana uz atdalītāju uz īssavienotāju, kas atstāts pēc remonta darbiem u.c.) vai nepareiza elektrisko aparātu izvēle.

*Īsslēguma veidi.*Trīsfāžu sistēmās izšķir trīs galvenos īsslēguma veidus: trīsfāžu, divfāžu un vienfāzes īsslēgumu (6.1. tab.).

6.1. tabula

**Īsslēgumu veidi**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Shēma | Tīkla neitrāles režīms | | | |
| **Ciešais, jeb efektīvais**  **zemējums** | | Izolēta, jeb kompensēta | |
| Nosaukums | Apzīmējums | Nosaukums | Apzīmējums |
|  | Trīsfāzu  īsslēgums | K(3) | Trīsfāzu īsslēgums | K(3) |
|  | Trīsfāzu  īsslēgums uz zemi | K(1,1,1) | Trīsfāzu  īsslēgums uz zemi | K(3, Z) |
|  | Divfāzu  īsslēgums | K(2) | Divfāzu  īsslēgums | K(2) |
|  | Divfāzu  īsslēgums uz zemi | K(1,1) | Divfāzu  īsslēgums uz zemi | K(2, Z) |
|  | Vienfāzes  īsslēgums | K(1) | Vienfāzes slēgums uz zemi | Z(1) |
|  | Divkāršs  īsslēgums uz zemi | K(1+1) | Divkāršs slēgums uz zemi | Z(1+1) |

No elektrisko tiklu ekspluatācijas statistikas seko, ka 3 – 10 kV sprieguma tīklos visbiežāk notiek daudzfāzu īsslēgumi un vienfāzes zemesslēgumi, turpretī 20 kV un 35 kV sprieguma tīklos daudzfāzu īsslēgumi un divkāršie zemesslēgumi. Tīkli 3 - 35 kV pieskaitāmi pie tīkliem ar mazām zemesslēguma strāvām, jo tie parasti izveidoti ar izolētu neitrāli.

Tīkliem ar 110 kV un augstāku spriegumu parasti ir cieši zemēta neitrāle un tiem ir lielas zemesslēguma strāvas. Šajos tīklos visbiežāk rodas vienfāzes īsslēgumi. Turklāt jārēķinās arī ar daudzfāzu īsslēgumiem, kā arī divfāzu īsslēgumiem uz zemi

Īsslēguma strāvas rašanās relatīvais biežums procentos ir parādīti 6.2. tabulā.

6.2. tabula

**Īsslēguma strāvas rašanās relatīvais biežums**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Īsslēguma**  **veidi** | **Principiālā**  **shēma** | **Īsslēguma relatīvais biežums (%) tīklos**  **ar dažādiem spriegumiem, kV** | | | | |
| **6...20** | **35** | **110** | **220** | **500** |
| Vienfāzes K(1) |  | 61 | 67 | 83 | 88 | 95 |
| Divfāžu К(2) |  | 17 | 18 | 5 | 3 | 2 |
| Divfāžu  zemesslēgums  K(1,1) |  | 11 | 7 | 8 | 7 | 2 |
| Trīsfāžu K(3) |  | 11 | 8 | 4 | 2 | 1 |

*Trīsfāžu* īsslēgums ir visvienkāršākais bojājuma veids, jo šajā gadījumā visas fāzes atrodas vienādos apstākļos. To sauc arī par simetrisku īsslēgumu.

*Divfāžu un vienfāzes* īsslēgumus sauc par nesimetriskiem. Vien­fāzes īsslēgumi elektroapgādes sistēmā sastopami visbiežāk, to skaits sasniedz 65% no kopējā visu veidu īsslēgumu skaita.

Sastopami arī cita veida īsslēgumi, kas saistīti ar vadu pārrā­vumiem un vienlaicīgu vairāku fāžu saskari. Tie ir tā saucamie saliktie īsslēgumi. Dažkārt viena veida īsslēgums var pāriet citā veidā (piemēram, 6-35 kV sprieguma kabeļu līnijās vienas fāzes saskare ar zemi bieži pāriet starpfāžu īssavienojumā).

*Īsslēgumu sekas.*

– rodas liels spēks starp strāvas vadošām daļām, kas var izsaukt to mehāniskus bojājumus;

– nepieļaujams elektroiekārtu sasilums un to termisks bojājums strāvas ievērojamas palielināšanas rezultātā ( 10 – 15 reižu un vairāk);

– elektroiekārtu aizdegšanās;

– sprieguma līmeņa pazemināšanas tīklos un spriegumu asimetrija, kas noved pie elektrodzinēju griešanās momenta samazināšanās, tobremzēšanās, ražīguma samazināšanās vai pat dzinējs pilnīgi apstājas (tas notiek jau pie sprieguma pazemināšanās par 30 – 40 % uz laiku 1s un ilgāk). Uzņēmumos tiek pārkāpts tehnoloģijas cikls, paradās brāķa produkcija;

– blakus esošās sakaru un signalizāciju līnijās nesimetrisko īsslēgumu laikā parādās EDS, kas bīstams apkalpojošam personālam un izmantojamām iekārtām;

– atsevišķu elektrostaciju vai veselu elektrisko sistēmu daļu izkrišana no sinhronisma (stabilitātes traucējums), kas rada avārijas situāciju un pie liela skaita patērētāju atslēgšanas var pāraugt sistēmas avārijā.

Īsslēgumu strāvām var būt visdažādākā vēr­tība: ja īsslēguma punkts atrodas tuvu barošanas avotam, tad strā­vas var sasniegt vairākus desmitus, bet dažkārt arī simtus kiloampēru. Ja bojājuma punkts atrodas tālu no barošanas avota, tad to strāvas ir ievērojami mazākas. Tomēr neatkarīgi no īsslēguma strāvas absolūtā lieluma bojātā elementā tā daudzkārt pārsniedz darba strāvu. Tāpēc īsslēgumu strāvas nereti sakarsē strāvu vadošās daļas līdz temperatūrai, kas ievērojami pārsniedz pieļaujamo, sa­kausē elektrisko aparātu kontaktus, ja šie aparāti nav izraudzīti iespējamajai īsslēguma strāvai. Uz elektroietaišu strāvu vadošām daļām (kopnēm, aparātu fāzēm u. tml.), plūstot tajās lielām strā­vām, iedarbojas ievērojami savstarpējās iedarbības spēki, kuri var tās pārraut, salauzt aparātu un kopņu balsta izolatorus, elektrisko mašīnu tinumu starprievu daļu nostiprinājumus utt.

Īsslēgumu gadījumos var izveidoties stabils elektriskais loks, kas izkausē strāvu vadošās daļas un izdedzina izolāciju.

Īsslēgumi rada dziļu sprieguma samazinājumu, kas krasi paslik­tina elektrouzņēmēju darbu, samazina elektroiekārtu ražīgumu, var izraisīt darba mehānismu apstāšanos, kas atsevišķos gadījumos ir sevišķi bīstami.

*Īsslēguma strāvu aprēķina nolūks.* Lai varētu izvēlēties pasāku­mus īsslēguma procesu bīstamo seku ierobežošanai, jāaprēķina īsslē­guma strāvas. Tās izmanto

* elektroapgādes shēmu salīdzināšanai un to racionālākā varianta izvēlei;
* elektrouzņēmēju darba apstākļu noteikšanai avārijas režīmā;
* elektrisko aparātu, kopņu, izolatoru, spēka kabeļu un citu elek­trotehnisko izstrādājumu izvēlei;
* releju aizsardzības un automātikas iestatījuma izvēlei un pro­jektēšanai;
* aizsargzemējumu projektēšanai;
* pārsprieguma aizsardzības izlādņu parametru piemeklēšanai;
* īsslēguma strāvu ierobežošanas līdzekļu izvēlei;
* dažādu pārbaužu veikšanai;
* notikušo avāriju analīzei.

Īsslēguma strāvu aprēķina rezultātā nosaka šādus lielumus:  
 *I"* — īsslēguma strāvas periodiskās komponentes (virspārejas strāvas) sākuma vērtību;  
 *itr* — īsslēguma triecienstrāvu, kuras vērtība nepieciešama elektrisko aparātu, kopņu un izolatoru elektrodinamiskās iz­turības pārbaudei;

*Id* — pilnās īsslēguma strāvas lielāko efektīvo vērtību, kas nepieciešama, lai pārbaudītu elektrisko aparātu dinamisko izturību īsslēguma procesa pirmajā periodā;

*I0,1-0,2* — laika momentam *t* = 0,1-0,2 s pēc īsslēguma sākuma atbilstošo *It* vērtību, kas vajadzīga slēdžu pārbaudei pēc to slēgtspējas strāvas;

*IOC* — stacionārās īsslēguma strāvas efektīvo vērtību, ko izmanto elektrisko aparātu, kopņu, caurvadizolatoru un kabeļu termiskās izturības pārbaudei;

*S*0,1-0,2 — laika momentam *t =* 0,1-0,2 s pēc īsslēguma sākuma at­bilstošo īsslēguma jaudu, kas vajadzīga slēdžu pārbau­dei pēc to slēgtspējas jaudas. Ātrdarbīgiem slēdžiem šis laiks var samazināties līdz 0,08 s.

Mūsdienu elektriskajās sistēmās precīzs īsslēguma strāvas ap­rēķins ir ļoti sarežģīts un praktiski nerealizējams. Savukārt nepie­ciešamā aprēķina precizitāte ir atkarīga no tā, kādam nolūkam īs­slēguma strāvu izmanto. Tā, piemēram, elektrisko aparātu izvēlei pietiek, ja īsslēguma strāvas nosaka visai aptuveni, jo aparātus raksturojošo lielumu skalām ir liels solis. Releju aizsardzības un automātikas izvēlei un iestatīšanai izmantojamo īsslēguma strāvu aprēķina precizitātei ir jābūt ievērojami augstākai.

Šo iemeslu, kā arī aprēķinu vienkāršošanas dēļ īsslēguma strā­vas aprēķina, pamatojoties uz vairākiem pieņēmumiem. Galvenie no tiem ir šādi:

* visus barošanas avotu EDS ņem ar sakrītošu fāzi;
* barošanas avotiem, no kuriem līdz īssavienojuma punktiem ir lieli elektriskie attālumi (induktīvās pretestības attiecinātās vienī­bās *X*\* > 3,0), EDS amplitūdas uzskata par nemainīgām;
* trīsfāžu sistēmu uzskata par simetrisku;
* neievēro slodzes ietekmi, arī mazjaudas sinhrono un asinhrono dzinēju ietekmi;
* neievēro īsslēguma ķēdes kapacitīvās šķērsvadītspējas un trans­formatoru magnetizēšanas strāvas;
* īsslēguma ķēdes aktīvo pretestību ievēro tikai tad, ja *RΣ ≥* 0,3∙*XΣ,* kur *RΣ* un *XΣ* ir ķēdes summārā ekvivalentā aktīvā un reaktīvā pre­testība līdz īsslēguma punktam.

**6.2. ĪSSLĒGUMA STRĀVAS APRĒĶINA METODES**

Īsslēguma strāvas momentāna vērtība sastāv no divām komponentēm: *ip,t* – īsslēguma strāvas periodiskā komponente, kuru nosaka pieliktais spriegums un ķēdes pretestība līdz īsslēguma punktam un *ia,t* - īsslēguma strāvas aperiodiskā komponente.

*it = ip,t + ia,t.*

Aperiodiskās komponentes rašanās fizikālais pamatojums ir tāds, ka magnētiskajā laukā uzkrātā enerģija *L∙i*2/2 nevar momentāni izmainīties. Īsslēgtās ķēdes aktīvas pretestības dēļ brīvas strāvas norimst pēc eksponenciāla likuma un, tā kā periods *Ta* ir mazs, tad pēc 0,1-0,2 s kļūst vienādas ar nulli. Vislielākā *ia*0 vērtība atbilst nenoslogotas ķēdes īsslēgumam momentā, kad sprieguma sinusoidālā līkne iet caur nulli.

Īsslēguma strāvas izmaiņas līkne parādīta 6.1. attēlā. Šī līkne pie nosacījuma *i*(0) atbilst maksimālajai aperiodiskās komponentes sākuma vērtībai, kura ir vienāda ar periodiskās komponentes amplitūdu: *ia*0 = *Ip,m = Um/Zk* .

Pārejas procesu raksturo

* *periodiskas komponentes sākuma vērtība*

** (6.1)

* *triecienstrāva* (maksimālā īsslēguma strāvas momentānā vērtība pusperiodu pēc īsslēguma sākuma momenta)

 (6.2)

kur *Ktr* — triecienstrāvas koeficients, kuru var noteikt no 6.2. at­tēlā dotā grafika vai pēc formulas

 (6.3)

|  |
| --- |
| 6.1. att. Strāvu izmaiņas trīsfāžu īsslēguma gadījumā. |

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

6.2. att. Triecienstrāvas koeficienta *Ktr* atkarība no pretestību attiecības X*/R* (*a*) un *R/X* (*b*)*.*

* *pilnās īssleguma strāvas lielākā efektīvā vērtība* pirmā perioda laikā

** (6.4)

kur *Ip,t* — periodiskās komponentes efektīvā vērtība laika momentā *t;*

*Ia,t* — aperiodiskās komponentes vērtība laika momentā *t;*

* *strāvas maksimālā efektīvā vērtība*

 (6.5)

kur *I*" — periodiskās strāvas virspārejas komponentes maksimālā sākuma vērtība: *I"* = =√2 ∙*Ip*;

* *īsslēguma jauda* laika momentā *t*

 (6.6)

Īsslēguma strāvas aktīva pretestība parasti daudz lielākā par induktīvo (*R >> X*), aperiodiskā strāva norimst pēc eksponenciāla likuma un pēc 0,1-0,2 s kļūst vienādas ar nulli. Tādēļ triecienstrāvas koeficientu ēkas iekšējas tīklos un ēkas ievadā varam pieņemt vienādam ar 1 (*Ktr* = 1) un tikai uz apakšstacijas kopnēm viņš palielinās līdz *Ktr* = =1,1.

**6.3. ĪSSLĒGUMA STRĀVAS ZEMSPRIEGUMA TIKLOS**

Zemsprieguma tīklu galvenais barošanas avots ir transformatori, kuru jauda būtiski atšķiras no sistēmas jaudas, un spriegums uz to sekundārajiem tinumiem paliek nemainīgs un vienāds ar l,05*UN.T.*. Šajos gadījumos barošanas sistēmu var uzskatīt par avotu ar kon­stantu EDS, kura pretestība ir vienāda ar 0. Šis nosacījums prak­tiski vienmēr pastāv, ja jauda pazeminošajiem transformatoriem, caur kuriem barojas īsslēguma vieta, atbilst sakarībai

 (6.7)

kur *Ssist* — barošanas sistēmas jauda, MV·A.

Zemsprieguma tīkliem raksturīgs to lielais kop­garums un elektriskās aparatūras (strāvmaiņi, kontaktori, automā­tiskie gaisa slēdži u. tml.) daudzums.

Būtiski īsslēgumu strāvas ietekmē līniju aktīvās pretestības, strāvmaiņu, automātu spoļu un kontaktoru induktīvās pretestības. Ja šos faktorus neievēro, tad var rasties liela kļūda, kura savukārt ir par pamatu nepareizai vadu un kabeļu dzīslu šķērsgriezumu un elek­triskās aparatūras izvēlei.

Daudzos gadījumos jāņem vērā arī aktīvās pretestības palieli­nāšanās īsslēguma strāvas izdalītā siltuma ietekmē. Šo ietekmi vis­vieglāk ievērot, ja pēc īsslēguma strāvas aprēķina izdara attiecīgu korekciju. Zinot īsslēguma strāvu, kas noteikta aptuveni bez vadu silšanas efekta ievērošanas, un īsslēgtās ķēdes vadu šķērsgriezu­mus, nosaka vadu temperatūras pieaugumu īsslēguma strāvas ietekmē un aktīvās pretestības. Pēc tam aprēķinu precizē, izman­tojot koriģētās īsslēgtās ķēdes atsevišķo elementu aktīvās pretes­tības.

Izmainījušos pretestības vērtību aptuveni nosaka pēc formulas



kur *R* — vada pretestība sākuma temperatūrā θ0,°C (pirms īsslē­guma), mΩ;

*S* — vada šķērsgriezuma laukums, mm2;

*Ik* — īsslē­guma strāva, neievērojot sasilumu, kA;

*m* — koeficients, kas va­ram ir22*,* bet alumīnijam — 5;

*t* — īsslēguma laiks, s.

Šī formula izmantojama, kad īsslēguma strāvas plūšanas laiks ir neliels (silšanas process ir adiabātisks).

Ja īsslēgtās ķēdes kopējā reaktīvā pretestība ir samērā maza (X ≤0,3R), tad tās ietekme ir niecīga un aprēķinos var pieņemt *X=* 0.

Īsslēguma strāvu tiklos ar spriegumu līdz 1000 V aprēķina no­sauktās vienībās un visas aizvietošanas shēmas pretestības reducē uz to sprieguma pakāpi, kurā atrodas īsslēgums. Parasti sistēmas pretestību transformatoru 6(10) kV sprieguma pusē vispār ignorē, uzskatot, ka sistēmas jauda ir neierobežota.

Aprēķinu veic šādā secībā.

1. Sastāda aplēses shēmu, kurā atzīmē īsslēguma punktu. Tajā jāparāda visi iekārtas aparātu un kopņsavienojumu parametri, kas nepieciešami tālākajam aprēķinam: transformatora tips, nominālā jauda, īsslēguma sprieguma aktīvā un reaktīvā komponente, komu­tācijas aparātu un strāvmaiņu tipi un pretestības, kopņu un kabeļu šķērsgriezums, materiāls un garums. Visi barošanas avoti tiek ap­vienoti, un to jaudu uzskata par neierobežotu.

2. Sastāda aizvietošanas shēmu, kurā uzrāda uz transformatora zemāko spriegumu reducētās aktīvās un reaktīvās pretestības Ω vai mΩ.

Shēmas rezultējošo pretestību nosaka pēc formulas



Ja  tad aktīvo pretestību var neņemt vērā, un *Zrez ≈ Xrez*.

4. Aprēķina īsslēguma strāvas periodisko komponenti:

 vai 

Triecienstrāvas koeficientu nosaka pēc līknēm, kas dotas 6.2. at­tēlā.

Triecienstrāva



Ja ievēro strāvu vadošo daļu sasilšanu īsslēguma strāvu ietekmē, tad tās stacionāro vērtību koriģē.

Nesimetrisko īsslēgumu strāvas tīklos ar spriegumu līdz 1000 V aprēķina, lai izvēlētos atbilstošos aizsardzības aparātus un to iestatījumus. Tā, piemēram, šajos tīklos strāvmaiņus, kas uzstādīti divāsfāzēs (zemētas neitrāles tīklā), izvēlas un pārbauda pēc divfāžu īsslēguma strāvās starp fāzēm, kA, ar un bez strāvmaiņa, proti,

 (6.8)

kur *X*1*, R*1 — attiecīgi tiešās secības shēmas rezultējošā induktīvā un aktīvā pretestība, mΩ; *XTA, RTA* — strāvmaiņa induktīvā un ak­tīvā pretestība, mΩ; *U —* starpfāžu spriegums, V.

Formulā (6.8) aktīvās un induktīvās pretestības dubultvērtibas ir ņemtas tāpēc, ka divfāžu īsslēguma kompleksā aizvietošanas shēma ietver tiešās un apgrieztās secības pretestības, kuras tīklos ar spriegumu līdz 1000 V ir savstarpēji vienādas. Strāvmaiņa pre­testība izdalīta atsevišķi, jo strāvmaiņi ir uzstādīti tikai divās fā­zēs un tiešās secības strāvas cirkulācijas ceļā strāvmainis sasto­pams tikai vienu reizi.

Lai iestatītu releju aizsardzību pret vienfāzes īsslēgumiem, ne­pieciešams zināt to strāvu, kA:

 (6.9)

kur *X*0*, R*0 — attiecīgi nullsecības shēmas rezultējošās pretestības, mΩ; tās izdalītas atsevišķi sakarā ar to, ka ievērojami atšķiras no tiešās secības pretestības.

Pēc formulām (6.8) un (6.9) atrod īsslēguma strāvas perio­diskās komponentes sākuma vērtības.

Vienfāzes īsslēguma strāvās aprēķinam 0,4 kV sprieguma tikla ar zemētu neitrāli var rekomendēt vienkāršotu formulu

 (6.10)

kur *Uf* — tīkla fāzes spriegums, kas vienāds ar = 0,23 kV;

*ZC* — īsslēgtās cilpas fāze—nulle pretestība: 

*RC —* cilpas aktīvā pretestība, ko ņem pēc rokasgrāmatām;

*XC* — cilpas induktīvā pretestība, kuru var aprēķināt pēc formulām, pamatojo­ties uz līnijas balstu rasējumiem, bet kuru krāsaino metālu vadiem rekomendē pieņemt vienādu ar 0,6 Ω/km;

— trešdaļa no trīsfāžu transformatora vienfāzes īsslēguma kompleksās aiz­vietošanas shēmas summārās pretestības, ja transformatora tinumi saslēgti shēmā Y/Yo. Nedrīkst lieluma  vietā izmantot *ZT,* kas noteikts no 6.8. tabulas.

**6.4. ĪSSLĒGUMA STRĀVAS APRĒĶINS ZEMSPRIEGUMA TIKLOS**

Trīsfāzu īsslēguma strāvas periodiskas komponentes var aprēķināt pēc formulas

 (6.11)

kur *UN* – nominālais līnijas spriegums, V;

 - summārā aktīva pretestība, Ω;

 - summārā reaktīva pretestība, Ω.

Ja nav datus par pārejas pretestībām, tad aptuvenas pārejas pretestības uz apakšstacijas sadalēm ir 15 mΩ, uz ēkas ievada sadalēm - 20 mΩ un tālāk – 25 mΩ.

Trīsfāžu spēka transformatoriem aktīva un reaktīva pretestība zemsprieguma pusē 0,4/0,23 kV dota 6.3. tabulā.

6.3. tabula

**Trīsfāžu spēka transformatoriem aktīva un reaktīva pretestība zemsprieguma pusē 0,4kV**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Transformatora jauda, kVA** | **160** | **250** | **400** | **630** | **1000** |
| Aktīva pretestība (mΩ) uz vienu fāzi | 17 | 10,2 | 5,7 | 3,2 | 2,1 |
| Reaktīva pretestība (mΩ) uz vienu fāzi | 42 | 30,3 | 17,2 | 13,4 | 8,5 |

Dažas elektriskās aparātus aktīvas un reaktīvas pretestības var atrast 6.4. tabulā

6.4. tabula

**Elektriskās aparātus aktīvas un reaktīvas pretestības**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nosaukums** | **Aktīva pretestība R, mΩ** | **Reaktīva pretestība, mΩ** |
| **1** | **2** | **3** |
| Strāvas transformatori ar transformācijas koeficientu |  |  |
| 20/5 | 42 | 67 |
| 30/5 | 20 | 30 |
|  |  |  |
| 6.4. tabulas turpinājums | | |
| **1** | **2** | **3** |
| 40/5 | 11 | 17 |
| 50/5 | 7 | 11 |
| 75/5 | 3 | 4,8 |
| 100/5 | 1,7 | 2,7 |
| 150/5 | 0,8 | 1,2 |
| 200/5 | 0,4 | 0,7 |
| Elektromagnētiskā atkabņa spoles  (Θ = 650C) nomināla strāva, A |  |  |
| 50 | 5,5 | 2,7 |
| 70 | 2,4 | 1,3 |
| 100 | 1,3 | 0,9 |
| 200 | 0,4 | 0,3 |

**Trīsfāžu īsslēguma strāva.** Trīsfāžu īsslēguma strāvas periodisku komponenti tīklam, kas sastāv no *n* posmiem var aprēķināt pēc formulas

. (6.12)

kur *uk* – transformatora īsslēguma spriegums, %;

*IN.T* – transformatora nomināla strāva, A;

*Imax* – aprēķina strāva dotajā posmā, A;

Δ*Ua* – sprieguma zuduma aktīva komponente, %;

Koeficienta *K*1 vērtības ir atkarīgas no jaudas koeficienta un viņus var atrast 6.5. tabulā.

6.5. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Jaudas koeficients cos*φ* | 0,6 | 0,65 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,9 | 0,95 | 1 |
| Koeficients *K*1 | 1,67 | 1,55 | 1,44 | 1,35 | 1,27 | 1,18 | 1,11 | 1,06 | 1,01 |

Attiecības *uk* /*IN.T* trīsfāžu spēka transformatoriem sastāda (sk. 6.6. tabulu)

6.6. tabula

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Transformatora jauda, kVA | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 | 1000 |
| *uk*/*IN.T* | 30∙10-3 | 18,5∙10-3 | 11,8∙10-3 | 7,4∙10-3 | 5,7∙10-3 | 3,6∙10-3 |

**6.1. piemērs.** Noteikt trīsfāžu īsslēguma strāvu dotajā punktā (sk. 6.3. att.). Tehniskie dati: posms 1 – *Pmax*1 = 100 kW; cosφ1 = 0,8; *Imax*1 = 190 A; *L*1 = 200 m; Δ*Ua*1 = 3,7 %;

posms 2 - *Pmax*1 = 40 kW; cosφ2 = 0,9; *Imax*2 = 68 A; *L*2 = 40 m; Δ*Ua*2 = 1,4 %.

|  |
| --- |
| 6.3. att. |

Aprēķins.

1. No 6.5. tabulas *K*11 = 1,27, *K*12 = 1,11.
2. No 6.6. tabulas *uk*/*IN.T* = 7,4∙10-3.

3. Pēc formulas (6.12) atrodam trīsfāžu īsslēguma strāvu



**Vienfāzes īsslēguma strāva.** Vienfāzes īsslēguma strāvu tīklam, kas sastāv no *n* posmiem var aprēķināt pēc formulas

 (6.13)

kur *Uf* – tīkla nominālais fāžu spriegums, V;

 – transformatora pilnā pretestība vienfāzes īsslēguma gadījumā uz korpusu, Ω;

*Imax* – aprēķina strāva dotajā posmā, A;

Δ*Ua* – sprieguma zuduma aktīva komponente, %;

Koeficienta *K*1 vērtības vadiem un kabeļiem instalētiem kanālos vai caurulēs doti 6.7. tabulā.

6.7. tabula

**Koeficients *K*1**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Sf*,**  **mm2** | **Vadi kanālos, caurules** | | | | **Četrdzīslu kabeļi** | | | | **Trīsdzīslu kabeļi** | | | |
| ***Sn*,**  **mm2** | ***K*1, ja cosφ** | | | ***Sn*,**  **mm2** | ***K*1, ja cosφ** | | | ***Sapv*,**  **mm2** | ***K*1, ja cosφ** | | |
| **0,6** | **0,8** | **1** | **0,6** | **0,8** | **1** | **0,6** | **0,8** | **1** |
| 2,5 | 2,5 | 3,3 | 2,5 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | 2,5 | 4,3 | 3,3 | 2,6 | 2,5 | 4,3 | 3,3 | 2,6 | — | — | — | — |
| 6 | 4 | 4,2 | 3,2 | 2,5 | 4 | 4,2 | 3,2 | 2,5 | 32,8 | 1,9 | 1,5 | 1,2 |
| 10 | 6 | 4,3 | 3,2 | 2,6 | 6 | 4,3 | 3,2 | 2,6 | 37,6 | 2,1 | 1,6 | 1,3 |
| 16 | 10 | 4,3 | 3,3 | 2,6 | 10 | 4,3 | 3,3 | 2,6 | 43,3 | 2,2 | 1,7 | 1,3 |
| 25 | 16 | 4,3 | 3,3 | 2,6 | 16 | 4,3 | 3,3 | 2,6 | 45,2 | 2,4 | 1,9 | 1,5 |
| 35 | 16 | 5,3 | 4 | 3,2 | 16 | 5,3 | 4 | 3,2 | 56,8 | 2,5 | 1,9 | 1,5 |
| 50 | 25 | 5 | 3,8 | 3 | 25 | 5 | 3,8 | 3 | 66,8 | 2,7 | 2,1 | 1,6 |
| 70 | 35 | 5,2 | 4 | 3,1 | 25 | 6,3 | 4,8 | 3,8 | 83,6 | 2,9 | 2,2 | 1,7 |
| 95 | 50 | 4,8 | 3,6 | 2,9 | 35 | 5,9 | 4,4 | 3,5 | 103,8 | 2,9 | 2,2 | 1,7 |
| 120 | 70 | 4,5 | 3,4 | 2,7 | 35 | 7,1 | 5,4 | 4,3 | 117,6 | 3 | 2,3 | 1,8 |
| 150 | 70 | 5,1 | 3,9 | 3,1 | 50 | 6,4 | 4,9 | 3,8 | 128 | 3,6 | 2,7 | 2,2 |
| 185 | 95 | 4,7 | 3,5 | 2,9 | 50 | 8,9 | 6,8 | 5,4 | 165 | 3,6 | 2,6 | 2,1 |

*Piezīme: Sf* – fāzes vada šķērsgriezums; *Sn* – nullvada šķērsgriezums; *Sapv* – kabeļa alumīnijas apvalka šķērsgriezums

6.8. tabulā atrodas attiecības **** vērtības dažiem spēka transformatoriem zemsprieguma tinumiem 400/230 V (augstsprieguma tinumiem vidēji pieņemtais spriegums ir 10 kV).

**6.2. piemērs.** Noteikt vienfāzes īsslēguma strāvu punktā, kas parādīts 6.3. attēlā.

Aprēķins.

1. No 6.7. tabulas pieņemam *K*1 vērtības katram tīkla posmam *K*11 = 2,3; *K*21 = 2,95.

2. No 6.8. tabulas atrodam = 22 mΩ, *Uf* = 220 V, /3*Uf* = 3,33∙10-5.

3. Pēc formulas (6.13) aprēķinam vienfāzes īsslēguma strāvu



Trīsfāzu īsslēguma strāvu transformatora zemsprieguma pusē var aprēķināt pēc transformatora pilnas pretestības

 (6.14)

kur *SN* – transformatora pilnā jauda, kVA.

6.8. tabula

**Aprēķina vērtības** **transformatoriem 10/0,4 kV vienfāzes īsslēguma gadījumā zemsprieguma pusē 0,4 kV**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Eļļās spēka transformatori** | | |
| **Transformatora nomināla**  **jauda, kVA** | **Tinumu savienošanas shēma** | **, mΩ** |
| 20 | Y/Yn | 1390 |
| 25 | Y/Yn | 1040 |
| 30 | Y/Yn | 900 |
| 40 | Y/Yn | 650 |
| 50 | Y/Yn | 540 |
| 63 | Y/Yn | 413 |
| 100 | Y/Yn | 260 |
| 160 | Y/Yn | 162 |
| 180 | Y/Yn | 150 |
| 250 | Y/Yn | 104 |
| 320 | Y/Yn | 85 |
| 400 | Y/Yn | 65 |
| 400 | Δ/Yn | 22 |
| 560 | Y/Yn | 48 |
| 630 | Y/Yn | 43 |
| 630 | Δ/Yn | 14 |
| 1000 | Y/Yn | 36 |
| 1000 | Δ/Yn | 9 |
| **Sausie transformatori** | | |
| 160 | Δ/Yn | 55 |
| 180 | Y/Yn | 150 |
| 250 | Δ/Yn | 35 |
| 320 | Y/Yn | 35 |
| 400 | Δ/Yn | 22 |
| 560 | Y/Yn | 48 |
| 630 | Δ/Yn | 14 |
| 750 | Y/Yn | 36 |
| 1000 | Δ/Yn | 9 |
| 1000 | Y/Yn | 27 |

Piezīme: Ja zemsprieguma pusē spriegums ir 230/133 V pretestības vērtībās tabulā jāsamazina 3 reizes

**6.3. piemērs**. Noteikt trīsfāžu īsslēguma strāvu transformatora zemsprieguma pusē. Transformatora jauda 1 MVA, spriegums 10/0,4, īsslēguma spriegums *uk* = 5,5%.

Aprēķins.

1. Transformatora pilnā pretestība (0,4 kV pusē)



2. Trīsfāžu īsslēguma strāvu transformatora zemsprieguma pusē 0,4 kV



Divfāžu īsslēguma strāvu parasti neaprēķina un pieņem ka viņa par 15% mazāka nekā trīsfāžu īsslēguma strāvu transformatora zemsprieguma pusē.

Vienfāzes īsslēguma strāvu aiz transformatora ar cieši zemētu neitrāli aprēķina pēc formulas

 (6.15)

kur *Uf* – fāzes spriegums, V;

 – transformatora pilnā pretestība vienfāzes īsslēguma gadījumā (nesimetriskais režīms), Ω.

**6.4. piemērs**. Noteikt vienfāzes īsslēguma strāvu transformatora zemsprieguma pusē. Transformatora jauda 1 MVA, spriegums 10/0,4, īsslēguma spriegums *uk* = 5,5%.

Aprēķins:

1. Fāzes spriegums *Uf* = 230 V, transformatora pilno pretestību vienfāzes īsslēguma gadījumā var atrast 6.8. tabulā -  *=* 27 mΩ, ja tinumu savienošanas shēma ir zvaigzne-zvaigzne ar nullvadu.

2. Vienfāzes īsslēguma strāvu transformatora zemsprieguma pusē 0,4 kV



**6.5. VADU TERMISKĀS IZTURĪBAS PĀRBAUDE**

Vadiem un aparātiem jābūt termiski izturīgiem pret īsslēguma strāvām. īsslēguma strāvas daudzkārt pārsniedz nominālu strāvu un tās ilgst aizsardzības darbības laikā 1-3 s. īsslēguma strāvas rada termisko impulsu, kura rezultātā vadi var pārdegt, kontaktvietas un pats vadu materiāls var pārkarst zaudējot nepieciešamo stiprību. Termiskā izturība ir atkarīga no vadu šķērsgriezuma *S.* Tātad, tās nodrošināšanai ir jānosaka termiski izturīgs šķērsgriezums *Sterm* . Šķērsgriezumam jābūt:

*S* ≥ *Sterm*.

Materiāla temperatūra silšanas procesā mainās eksponenciāli saskaņā ar vienlaicīgām silšanas un dzesēšanas likumsakarībām. Īsslēguma strāva darbojas īslaicīgi. Šajā laikā materiāls nepaspēj atdziest un, tātad, silšana notiek adiabātiski, kas atbilst pieskarei pret eksponenti tās sākumpunktā. Patiesībā, sasilstot, pieaug materiāla pretestība, kas palielina siltuma izdalīšanos. Rezultātā procesu raksturo līkne (3) ar izliekumu uz apakšu (6.4. att.).

Aprēķinot īsslēguma strāvu zemsprieguma tīklos, var ierobežoties ar īsslēguma strāvas nemainīgu laikā periodisko komponentu. Aprēķinos ņem vērā sistēmas, transformatora un zemsprieguma tīkla elementu pretestības miliomos (mΩ).Prasības aprēķina precizitātei ir atkarīgas no aprēķina mērķa. Tā, piemēram, vadu termiskās izturības pārbaudei sistēmas un pārejas kontaktu pretestības (tiek uzdotas rokasgrāmatās) neievērošana palielina drošuma pakāpi un ir pieļaujama. Īsslēguma strāvas aizsardzības aprēķiniem tas var nenodrošināt nepieciešamo jutības pakāpi un neprecizitātes sekas būtu jānovērtē.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 6.4. att. Adiabātisks silšanas  process īsslēgumā. |

Ja transformācijas koeficienta īstā vērtība nav zināma, tad var orientēties uz sprieguma līmeņiem 400 un 230 V. Sistēmas pretestību var pieņemt uz sekojošo apsvērumu pamata:

*a*) izejot no zināmās iepriekšējā pēc shēmas transformatora pretestības *Xs*, attiecinot to uz zemspriegumu saskaņā ar nolīdzinājumu



kur *U*1un *U*2- tuvākā transformatora primārā un sekundārā tinumu nominālie spriegumi;

*b*) izejot no zināmās īsslēguma strāvas transformatora primārā pusē *Ik*. Saskaņā ar vienādojumu



*c*) pirmā tuvinājumā aprēķinos pieņem ka pazeminošs transformators tiek barots no bezgalīgās jaudas avota.

Pārējo tīklu elementu pretestības pieņem saskaņā ar katalogu datiem.

Atšķirīgiem atslēgšanas laikiem *Tk* strāvu *It* koriģē saskaņā ar izteiksmi:



**6.5. piemērs**: atslēgšanas laikam *Tk* =0,5 s, *It* = *It*1/√0,5 = 1,42∙*It*1, bet *Tk* =5 s, *Tt* = *Tt*1/√5 = 2,23∙*Tt*1.

No tab. 6.9. atrod maksimāli pielaižamu temperatūru vadu materiāliem ar attiecīgo izolāciju un no grafikiem 6.5. att. atrod pielaižamu strāvas blīvumu *I* (A/cm2) 1 s atslēgšanas laikam. Lielākam atslēgšanas laikam strāvas blīvums tiek attiecīgi koriģēts.

**6.6. piemērs**. *= IK =* 1445 A, m = 0, n = 1.

Pieņemot *θmāks* = 200°C un sākotnējo temperatūru 50°C nosaka *I* = 145A/cm2. Tātad minimāli pielaižams šķērsgriezums 1 s atslēgšanas laikam:

S = 1445/145 = 9,96 cm2.

6.9. tabula

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Izolācijas materiāls** | **Unom,**  **kV** | **θ0 ,**  **°C** | **θ,**  **°C** | **Vadītāja**  **materiāls** | ***Ik* blīvums,**  **A/mm2** |
| PVC | 0,6- 10 kV | 70° | 160° | Cu | 115 |
| AI | 76 |
| 140° | Cu | 103 |
| AI | 68 |
| XLPE | Visi spriegumi | 90° | 250° | Cu | 143 |
| AI | 94 |

Kopnēm, izolatoriem un aparātiem jāpārbauda arī īsslēguma strāvas dinamiska iedarbība.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

6.5. att. Termiskas izturības aplēses grafiki: *a* - varam, 1 - tēraudam; *b* - alumīnijam.

**6.6. VADU TERMISKĀS STABILITĀTES PĀRBAUDE**

**Īsslēguma** strāvas rada vadītājos īsā laikā lielu siltuma izdalīšanos. Procesa īslaicīgums izslēdz siltuma izdalīšanās iespaidu uz procesa gaitu. Tas notiek praktiski adiabātiski. Laikā līdz īsslēguma atslēgšanas mirklim vada temperatūra sasniedz maksimālu temperatūru *τmax*, ko nosaka ekvivalentās strāvas blīvums *Iekv* īsslēguma laikā *tk*:



kur *τ*0 un *S* sākotnējā vadītāja temperatūra un tā šķērsgriezums.

Maksimālā temperatūra *τmax* nedrīkst pārsniegt lielumu, kas neatgriezeniski bojā vadītāja metālu vai tā izolāciju. Ja temperatūra pārsniedz pieļaujamo, attiecīgi jāpalielina vadītāja šķērsgriezums. Maksimāli pieļaujamās temperatūras dažādiem vadītājiem dotas 6.10. tabulā.

Īsslēguma strāva mainās laikā sakarā ar to, ka saskaņā ar magnētiskās plūsmas saglabāšanas likumu īsslēguma sākumā rodas aperiodisks strāvas komponents. Tas nobīda strāvu vienpusīgi no simetriskā stāvokļa pret laika asi. Aperiodisko strāvas komponentu raksturo koeficients *k*, kas ietilpst triecienstrāvas noteikšanas vienādojumā:



Aperiodiskā strāva rimst pēc eksponenciālā likuma ar laika konstanti, kas līdzinās elektriskās shēmas aktīvās un induktīvās pretestību attiecību *R/X*:



kas atbilst līknei, attēlotai (6.2. att.).

6.10. tabula

**Maksimāli pieļaujamās temperatūras dažādiem vadītājiem**

|  |  |
| --- | --- |
| **Materiāli** | **Temperatūra**  ***°C*** |
| Alumīnija kailvadiem atkarībā no stiepes | 200-160 |
| Tēraud-alumīnija vadiem alumīnija daļai | 200 |
| Vara kailvadi atkarībā no stiepes | 250-200 |
| Kabeļi 10 kV ar papīra izolāciju | 200 |
| Kabeļi 20 kV ar papīra izolāciju | 120 |
| Kabeļi ar polivinilhlorida izolāciju un gumiju | 150 |
| Kabeļi ar polietilēna izolāciju | 120 |
| Kabeļi un vadi ar izolāciju no šūtā polietilēna | 250 |
| Alumīnija kopnēm | 200 |
| Vara kopnēm | 300 |
| Tērauda kopnēm bez kontaktiem ar aparātiem | 400 |
| Tērauda kopnēm kas kontaktē ar aparātiem | 300 |

Tuvu ģenerējošiem avotiem (6.6. att. *a*) aktīvā pretestība ir nenozīmīga. Tāpēc strāvas nobīde ir maksimāli ilgstoša. Augstsprieguma tīklos aktīvās pretestības īpatsvars ir neliels Augstāko spriegumu tīklos k augšējā vērtība atbilst 2.0. Zemāko spriegumu tīklos tas kļūst lielāks. *K* maksimālā vērtība - 1,8. Tālu no ģeneratoriem (6.6. att. *b*) strāva ātrāk kļūst simetriska pret laika asi.

|  |
| --- |
|  |

6.6. att. Īsslēguma strāvas raksturs (*a*) tuvu, (*b*) tālu no ģeneratoriem.

Ievērojot to, ka īsslēguma strāva mainās, aprēķinos orientējas uz ekvivalentu strāvu I *ekv*, kas rada termisko efektu vienādu ar reālo strāvu:



kur *i* - atsevišķi laika Δ*t* = *Tk* nogriežņi.

Vadītāju maksimāli sasniegta temperatūra ir atkarīga no īsslēguma ekvivalentās strāvas *Iekv*, ko nosaka īsslēguma strāvas aperiodiskā un periodiskā komponenti. Abi komponenti īsslēguma laikā mainās. Ekvivalentā īsslēguma strāva kas ilgst Δ*t = tk* līdzinās:



kur *m* un *n* ievēro aperiodiskās un periodiskās īsslēguma strāvu īpatsvarus.

Lielumu *m* iegūst zināmiem īssleguma strāvas ilgumam *tk* un koeficientam *k.*

Zinot īsslēguma ilgumu *tk* un *k* vērtību, *m* var noteikt no 6.7. att. Savukārt, zinot *tk* un attiecību *Ik’’*/ *Ik*, no 6.8. att., iegūst *n* vērtību. Pieļaujamos īsslēguma strāvas blīvumus iegūst, zinot sākotnējo vadu temperatūru *θ*0un maksimāli pielaižamu vadu temperatūru θmax (6.9. att.).

**6.7. piemērs.** Jāpārbauda vara kopņu 100x10 mm = 1000 mm2 termisko izturību. Saskaņā ar aprēķiniem īsslēguma strāvas un citi lielumi:

174,2 kA, *k* = 1,8, *Tk* = 1 s, *Ik* = 48,5 kA, *m* = 0,04.

= 3,6, *n* = 0,37.

112 kA.

Īsslēguma strāvas blīvums



Sākotnējai temperatūrai *θ =* 80° C un maksimāli pielaižamai temperatūrai θmax = 200°C pielaižamais īsslēguma strāvas blīvums pēc (6.9. att.) ir *J* = 125.

Secinājums: kopnes ir termiski izturīgas.

|  |  |
| --- | --- |
| 6.7. att. Aperiodiskās īsslēguma strāvas koeficienta *m* = *f*1(*k*). | 6.8. att. Periodiskas īsslēguma strāvas radītājs  *n* = *f*2(*I’’*/*Ik*). |

Vadītāju temperatūras paaugstināšanos atkarībā no īsslēguma strāvas blīvuma parādīta 6.9. attēlā.

|  |
| --- |
| 6.9. att. Temperatūras paaugstināšanas atkarībā no īsslēguma strāvas blīvuma. |

**6.7. ĪSSLĒGUMA STRĀVU APRĒĶINS ZEMSPRIEGUMA**

**TIKLU SĀKUMPOSMĀ.**

Īsslēguma strāvas ir svarīgs tīkla darbības drošuma faktors. Jo lielāka ir īsslēguma strāva, jo drošāk strādā aizsardzības iekārtas.

Pirmajā tuvinājumā īsslēguma strāvas uz sadales transformatora zemsprieguma izvadiem var novērtēt īsslēguma jaudas vienībās:



kur *Sīssl* - īsslēgumajauda, VA;

*ST* - transformatora šķietamā jauda, VA;

*Uk -* transformatora īsslēguma spriegums %.

Tā, piemēram, ja sadales transformatora jauda ir 100 kVA un īsslēguma spriegums 5%, tad trīsfāzīgā īsslēguma jauda ir:

*Sīssl* = 100∙100/5 = 2000 kVA,

un trīsfāzīgā īsslēguma strāva : I*k =* 2000/ √3∙400 = 2890 A.

Tālākos tīkla posmos īsslēguma strāvas ierobežo zemsprieguma tīkla elementu pretestība.

Sakarā ar to, ka liels patērētāju skaits ir vienfāzīgie, liela nozīme ir vienfāzīgai īsslēguma strāvai. To aprēķinā izmanto ekvivalento shēmu, kur virknē slēgti tiešās, apgrieztās un nullsecības pretestības. Tīklā ar izolētu neitrāli vienfāzīgo īsslēguma strāvu lielā mērā nosaka sadales transformatoru nullsecības pretestība. Transformatoru nullsecības pretestības ekvivalentā shēma ir atkarīga no transformatora tinuma slēguma.

Y/Y0 slēgumamnullsecības pretestības ekvivalentā shēma parādīta (6.10. att.) trīssstieņu serdeņa nullsecības magnētiskais lauks noslēdzas caur izolāciju un transformatora bāku, pārvarot lielu magnētisku pretestību. Rezultātā X0 ir ( 3 - 10) reizes lielākas par tiešās un apgrieztās secības pretestībām:

X0 = (3-10)X1.

|  |
| --- |
|  |

6.10. att. a). Transformatora Y/Y tinuma shēma; b) ekvivalentā nullsecibas shēma.

Pirmajā tuvinājumā, pieņemot, ka transformators ir pievienots pie bezgalīgās jaudas energosistēmas, nosakām vienpolīgas īsslēguma jaudas 100 kVA sadales transformatoru zemsprieguma izvadiem Y/Y0 un Y/Z0 variantiem (īsslēguma spriegums 5%), ņemot vērā to, ka fāzes spriegums līdzinās 

pirmajā variantā: *Sīssl* = 100*ST /(2Uk + 5Uk)* = 100∙100/(2+5)∙5 = 285,7 kVA,

īsslēguma strāva: *Ik* =285,7∙√3/400 = 1235,6 A.

trešajā variantā: *Sīssl = 100ST/2Uk* = 100∙100/2∙5= 1000 kVA,

īsslēguma strāva: *Ik* = 1000∙√3/400 = 4325 A.

Y/Z transformatora vienpolīga īsslēguma strāva ir 3,5 reizes lielāka.

**7. NODAĻA**

**TRANSFORMATORU APAKŠSTACIJAS**

**7.1. APAKŠSTACIJU TIPI**

Par apakšstaciju sauc elektroietaisi elektroenerģijas pārveidoša­nai un sadalīšanai. Tā sastāv no transformatoriem vai citiem ener­ģijas pārveidotājiem, sadalēm, vadības ierīcēm un palīgbūvēm. Iz­šķir:

1. tiklu apakšstacijas, kuras energosistēmā realizē saiti starp aug­stākā un vidējā sprieguma tīkliem;

2. patērētāju apakšstacijas, ku­ras paredzētas konkrēta elektropatērētāja vai elektropatērētāju gru­pas barošanai.

Patērētāju apakšstacijas tālāk var iedalīt pēc šādiem galvenajiem principiem:

3. pēc enerģijas pārveidotāja izšķir transformatoru apakšstacijas (AS), taisngriezējapakšstacijas (piemēram, vilces apakšstacijas elektrificētā transporta barošanai), frekvences maiņas apakšstacijas u. tml.;

4. pēc vietas objekta elektroapgādes sistēmā var būt galvenās pazeminošās apakšstacijas (GPA) un cehu apakšstacijas. GPA primārais spriegums ir vismaz par vienu pakāpi augstāks (20…10 kV) nekā objekta iekšējo augstsprieguma tīklu spriegums (6 kV vai 10 kV). Par cehu AS uzskata tādas relatīvi nelielas jaudas (no dažiem simtiem līdz dažiem tūkstošiem kVA) apakšstacijas, kas iespējami pietuvinātas atsevišķām elektrouzņēmēju grupām;

5. pēc būvnieciskā izveidojuma un teritoriālā izvietojuma objekta izšķir:

* savrupas AS, kuras izvietotas atsevišķās ēkās starp cehiem, ja no vienas AS paredzēts barot elektrouzņēmējus vai­rākos cehos, kas atrodas ap AS;
* piebūvētas AS, kurām viena siena ir kopīga ar objektu;
* iebūvētās AS, kuras izvieto tieši ražošanas telpas. Tā kā šis ir no būvnieciskā viedokļa vislētākais risinājums, to rekomendē lietot vienmēr, kad nav īpašu ar ražošanas pro­cesu saistītu ierobežojumu (sprādzienbīstamība, ugunsbīstamība u. c);

6. pēc aizsargātības pret apkārtējās vides iedarbi visas AS iedala divās lielās grupās:

* iekštelpu (slēgtās) AS, kur transformatori un sadales izvietotas telpā. Tās būvē rūpnīcās, pilsētās un ciematos, ja katra transforma­tora jauda nepārsniedz 2500 kVA un augstākais spriegums — 20 kV;
* brīvgaisa AS, kur transformatori un augstākā sprieguma sadale izvietota atklāti, kā tas parādīts 7.23. attēlā. Šajā grupā galveno­kārt ietilpst GPA. Kā atsevišķs brīvgaisa AS paveids jāmin masta tipa AS. Tās lieto tīklos ar spriegumu līdz 35 kV. Ne zemāk par 3 m no zemes balstā ierīko laukumiņu, uz kura uzstāda transformatoru ar jaudu ST ≤ 400 kVA.

Visai bieži izveido jaukta tipa AS, t. i., tādas AS, kurās kāda daļa, piemēram, augstākā sprieguma sadale un transformatori, iz­vietota atklāti, bet zemākā sprieguma sadale un vadības ierīces — slēgti. Sājā gadījumā lieto jēdzienus «brīvgaisa sadale» (BS) un «iekštelpu sadale» (IS);

7. pēc rūpnieciski izgatavoto daļu īpatsvara un montāžas in­dustrializācijas pakāpes visas AS vai to sadales var iedalīt divās grupas:

* nekomplektās AS, kurās funkcionālos mezglus montē uz vietas no atsevišķiem elektriskajiem aparātiem, vadiem un elementārām būvkonstrukcijām;
* komplektās AS (KTA), kurām visi funkcionālie mezgli izgatavoti specializētās rūpnīcās un uzstādīšanas vietā tos atliek tikai savstar­pēji savienot. Komplektajās AS plaši izmanto komplektās iekštelpu sadales (KIS) un komplektās brīvgaisa sadales (KBS). Patērētāju AS galvenokārt izveido kā KTA, jo šāds izveidojums dod vietas, līdzekļu un montāžas laika ekonomiju;

8. pēc barošanas veida no sistēmas izšķir gala, nozarojuma un tranzīta AS (7.1. att.):

* gala AS, kuru baro no elektriskās stacijas vai sistēmas mezgla AS (barošanas centra BC) pa radiālām ar citam patērētāju AS nesaistītām līnijām (AS1 7.1. attēlā a un b);
* nozarojuma AS, kuru barošanas līnijas nozarojas no kādām citām (maģistrālajām) līnijām, kas bez aplūkojamās AS baro vēl citas AS;

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |
| ***c*** | ***d*** |

7.1. Galvenie apakšstaciju tipi.

* gala AS, kuru baro no elektriskās stacijas vai sistēmas mezgla AS pa radiālām ar citam patērētāju AS nesaistītām līnijām;
* nozarojuma AS, kuru barošanas līnijas nozarojas no kādām citām (maģistrālajām) līnijām, kas bez aplūkojamās AS baro vēl citas AS (AS2 7.1. attēlā a un b);
* tranzīta AS, caur kuru augstākā sprieguma sadali tiek izvadīta jauda uz citām AS (AS3 7.1. attēlā a, b un AS1 7.1 attēlā c);
* pēc mobilitātes pakāpes izšķir stacionārās un pārvietojamās AS;

Pie sistēmas mezgla AS pievieno ne mazāk ka trīs līnijas, kas saistīti ar dažādiem BC (AS1 7.1. att. d). Sistēmas mezgla AS izmanto daudzkontūru elektriskās līnijas.

9. pēc transformatoru skaita visbiežāk sastopamas ir vientransformatora un divtransformatoru AS. Trīs un vairāk transformatorus uzstāda tikai speciālos gadījumos.

Ērtākai un ekonomiskākai uzņēmuma iekšējo elektrotīklu izveido­šanai ierīko sadales punktus (SP), t. i., apakšstacijās neietilpstošas elektroietaises elektroenerģijas saņemšanai un sadalīšanai viena sprieguma līmenī. Atšķirībā no AS, kuras cenšas būvēt slodžu centros, SP rekomendē izvietot no tiem barojamo iecirkņu malas tā, lai nebūtu pretēju enerģijas plūsmu, kas vienmēr saistītas ar papildu zudumiem tīklā.

**7.2. APAKŠSTACIJU IZVIETOŠANAS PRINCIPI**

AS un SP pieder pie elektroapgādes galvenajiem elementiem, un tāpēc no to izvietojuma atkarīga visas uzņēmuma elektroapgādes sistēmas racionalitāte un ekonomiskums. Izvēloties AS vietu, jāap­mierina šādas galvenās prasības:

* 1. AS jāatrodas iespējami tuvāk barojamam slodzēm (slodžu centros). Šīs prasības ievērojot, var sa­mazināt elektroenerģijas zudumus tīklā, kas proporcionāli slodzes strāvas kvadrātam, ekonomēt instalācijas vadus zemākā sprieguma pusē un samazināt sprieguma svārstības pie elektrouzņēmējiem;
  2. jābūt ievērotam augstākā sprieguma principam, t.i., apakš­stacijām enerģija jāpievada ar iespējami augstāku spriegumu (samazinās zudumi tīklā, un slodžu centriem var pievadīt lielāku jaudu);
  3. jāņem vērā sagaidāmās slodzes izmaiņas uzņēmuma teritorijā tuvāko desmit gadu laikā;
  4. AS izveidojumam jābūt tādam, lai elektroapgādes drošums atbilstu attiecīgo elektrouzņēmēju prasībām;
  5. Priekšroka allaž jādod KTA un komplektajām sadalēm;
  6. lai ērti un ar minimāliem izdevumiem apakšstacijai varētu pievadīt un no tās aizvadīt visu spriegumu līnijas;
  7. lai varētu izmantot transporta līdzekļus un celšanas mehānismus smagu elektroiekārtu piegādē un uzstādīšanā;
  8. lai būtu ievērotas darba aizsardzības, ugunsdrošības un dabas aizsardzības (avārijas eļļas izplūde u. tml.) prasības.

AS būvvietas izvēli ieteicams sākt ar aktīvās slodzes kartogrammas sastādīšanu. Slodzes kartogramma ir uzņēmuma ģenerālplāns, kurā uz katra ceha vai cita elektroenerģiju patērējoša objekta uz­zīmēts šī objekta aplēses slodzei proporcionāla laukuma aplis. Līdz ar to *i*-tā objekta aktīvo slodzi *Pi* var izteikt šādi:

*Pi = n∙Ri*2*∙m*,(7.1)

kur *Ri* — apļa rādiuss; *m* — pieņemtais mērogs.

Aplēses slodzes mērogu var izvēlēt orientējas uz maksimālo vai minimālo slodzi





kur *m* – slodzes mērogs, kW/m2 vai kVAr/m2;

*PN min*, *QN min* – ceha minimāla jauda, kW vai kVAr;

*RN min* – minimālais slodzes rādiuss kartogrammā, km.

Aprēķina katra ceha aktīvas un reaktīvas apļa rādiusi

 (7.2)

kur *Ra* un *Rq* – katra ceha aktīvas un reaktīvas slodzes apļa rādiusi, km;

*P* un *Q* - katra ceha aktīva un reaktīva jauda, kW un kVAr;

*ma*, *mq* – aktīvas un reaktīvas jaudas slodzes mērogs, kW/m2 vai kVAr/m2;

Ja ir zināmi tikai *P* un cos*φ*, tad reaktīvo jaudu var aprēķināt no izteiksmes

*Q* = *P*tg *φ*.

Nepieciešamības gadī­jumā ikvienu apli var sa­dalīt sektoros, katrs no ku­riem raksturo kādu slo­dzes veidu: augstsprie­guma slodzi, zemsprieguma spēka slodzi, ap­gaismes slodzi u. tml. 7.2. attēlā iesvītrotie sektori atbilst apgaismes slodzei *Papg*. Sektora laukums ir atkarīgs no leņķa *α*:

 (7.3)

kur *P∑* — objekta kopēja slodze.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.2. att. Uzņēmuma slodžu kartogramma:  *A —* esošo slodžu centrs, *B* — slodzes centrs, ņemot vēra slodzes pieaugumu perspektīvā; 1,…, 5cehu kārtas numuri ģenerālplānā. |

Katra apļa centrs atrodas attiecīgā objekta slodzes centrā, t. i., simboliskā elektroenerģijas patēriņa punktā. Slodzes centra noteik­šanai pastāv vairākas metodes. Visbiežāk izmanto teorētiskās mehānikas sakarības smaguma centra atrašanai, kuras izmantojot elektrisko slodžu centra aplēsē kļūda nepārsniedz 5...10%. Ja slodzi ceha var uzlūkot par vienmērīgi sadalītu, tad slodzes centrs atbilst plāna dotās ceha figūras smaguma centram. Nevienmērīga slodžu sadalījuma gadījumā slodzes centra koordinātas (7.2. att.) atrod tāpat kā smaguma centru sistēmai ar nevienmērīgi sadalītu masu:

 (7.4)



kur *xa*0, *ya*0 — aktīvo elektrisko slodžu centra koordinātas, km; *xq*0, *yq*0 — reaktīvo elektrisko slodžu centra koordinātas, km; *xi*, *yi* — *i*-tā objekta (ceha) elektrisko slodžu centra koordinātas, km; *Pi* — *i*-tā ob­jekta aktīvā aplēses slodze, kW; *Qi* — *i*-tā ob­jekta reaktīvā aplēses slodze, kVAr; *n* — aplūkojamo objektu skaits.

A(*xa*0, *ya*0) – galvenās pazeminošās apakšstacijas (GPA) koordināti.

B(*xq*0, *yq*0) – kondensatoru iekārtas atrašanas vieta.

Svarīgi ne tikai tas, kur slodzes izvietotas, bet arī to darbības ilgums *Ti* ap­lēses periodā. Ievērojot *Ti*, izteiksmes (7.4) var pārrakstīt formā

 (7.5)

Daudzstāvu objektos, nosakot objekta slodzes centru, jāņem vērā vēl trešā koordināta *z*0.

Reaktīvajai slodzei analogi konstruē atsevišķas kartogrammas, kuras izmanto reaktīvās jaudas avotu (kondensatoru bateriju, sinhrono kompensatoru, sinhrono dzinēju) optimālai izvietošanai.

Pēc tam kad noteikti atsevišķo objektu un visa uzņēmuma slodžu centri, var sākt AS izvietošanu ģenerālplānā, to jaudas un apkalpes zonu noteikšanu, vadoties no konkrētiem apstākļiem un apakšno­daļas sākumā formulētajām vispārīgām prasībām.

**7.1. Piemērs**

Dotie lielumi:

**Uzņēmuma ģenerālplāns 3 x 2 km ar katra ceha slodzēm**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Parametrs** | **Ceha numurs** | | | | |
| ***C*1** | ***C*2** | ***C*З** | ***C*4** | ***C*5** |
| *Р*, kW | 100 | 160 | 1000 | 400 | 25 |
| *X*, km | 0,6 | 1,45 | 2,4 | 1,55 | 0,4 |
| *У*, km | 1,45 | 1,25 | 0,9 | 0,55 | 0,4 |
| соs*φ* | 0,7 | 0,75 | 0,9 | 0,8 | 0,6 |

Noteikt aktīvas un reaktīvas jaudas slodzes centri, uzzīmēt uzņēmuma slodzes kartogrammu, ja uzņēmuma kartogrammas mērogs *mk* = 0,2 km/cm.

Atrisinājums:

1. Aktīvas jaudas slodzes mērogs

Minimālai slodzei (*C*5) varam pieņemt, ka rādiuss *Ra*5 = 0,1 km, tad



Par slodzes mērogu varam pieņemt *ma* = 800 kW/km2.

Maksimālas slodzes rādiuss šajā gadījumā



Aprēķina pārejas slodzes rādiusi pēc izteiksmēm:



Rezultātu ieraksta 7.1. tabulā.

Aprēķina reaktīvas slodzes pēc sakarības

*Qi = Pi*tg*φi*.

Aprēķina reaktīvas slodzes rādiusi, ja *mq* = 800 kVAr/m2



Rezultātus ieraksta 7.1. tabulā.

Kartogrammā slodzes uzzīmē ar apļiem – aktīvas ar nepārtraukto līniju, reaktīvas – ar raustīto līniju (7.3. att.).

Aprēķina slodžu centros koordināti:





7.1. tabula

**Uzņēmuma slodzes saraksts**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Parametrs** | **Ceha numurs** | | | | |
| ***C*1** | ***C*2** | ***C*З** | ***C*4** | ***C*5** |
| *P*, kW | 100 | 160 | 1000 | 400 | 25 |
| *Rа*, km | 0,2 | 0,25 | 0,63 | 0,4 | 0,1 |
| cos *φ* | 0,7 | 0,75 | 0,9 | 0,8 | 0,6 |
| tg*φ* | 1,02 | 0,88 | 0,48 | 0,75 | 1,33 |
| *Q*, kVAr | 102 | 141 | 480 | 300 | 33 |
| *Rq*, km | 0,22 | 0,24 | 0,44 | 0,35 | 0,11 |

Tuvumā punktam *A*(2,0; 0,88) var izvietot GPA.





Tuvumā punktam *B*(2,3; 083) var uzstādīt kondensatoru bateriju (KB) vai sinhrono kompensatoru (SK).

|  |
| --- |
|  |

7.3. att. Uzņēmuma slodzes kartogramma.

**7.3. APAKŠSTACIJU SHĒMAS**

**7.3.1. Shēmu iedalījums un izpildījums**.

Katrā tehnikas nozarē pastāv shēmu veidus (elek­triskā, hidrauliskā, pneimatiskā utt.) un tipus (struktūrshēma, fun­kcionālā shēma, principshēma utt.) iedalījums un prasības to grafiskajam izpildījumam. Attēlā 7.4. paradīta vientransformatoru apakšstacijas blokshēma.

AS projektē­šanā un ekspluatācijā sastopamas divas elektrisko shēmu grupas:

1. primāro savienojumu elektriskās shēmas, kurās ar pieņem­tajiem grafiskajiem apzīmējumiem attēloti galvenie elementi (trans­formatori, komutācijas aparāti, mērmaiņi, reaktori, kopnes, izlādņi, sprostdroseles un sakaru kondensatori). Literatūrā tās bieži dēvē par AS galvenajām shēmām (galvenajām principshēmām) un aplūko atsevišķi augstākā sprieguma sadalei (ASS), vidējā sprieguma sadalei (VSS) un zemākā sprieguma sadalei (ZSS);
2. sekundāro ķēžu elektrisko savienojumu shēmas, kuras ietver operatīvās strāvas avotus, vadības, signalizācijas, releju aizsardzī­bas ķēdes, kā arī mērķēdes.

Galvenās shēmas zīmē kā vienlīnijas principshēmas (7.5. att.). Ja kādā trīsfāžu ķēdes posmā būtiski atšķiras atsevišķo fāžu izvei­dojums, piemēram, sprostdroseles, strāvmaiņi vai īsslēdzēji uzstā­dīti tikai vienā vai divās fāzēs, tad vienlīnijas shēmā tikai šo posmu parāda trīslīniju izpildījumā. Parasti vienlīnijas principshēmas zīmē visai AS un komutācijas aparāti tajās parādīti atslēgtā stāvoklī. Kā atsevišķs gadījums te jāatzīmē t. s. operatīvās shēmas, kurās komu­tācijas aparātu stāvoklis atbilst noteiktam shēmas režīmam.

Atdalītāja kustīgais kontakts shēmā jāzīmē tā, lai attiecīgā pievienojuma atslēgtā stāvoklī tas neatrastos zem sprieguma. Taču jāievēro arī prasība, lai kustīgie svirkontakti (naži) nevarētu sa­slēgties pašsvara ietekmē, t. i., svirslēdža vai atdalītāja nekustī­gajiem kontaktiem jābūt vērstiem uz sadalkopņu pusi. Sadalēs, kur lieto horizontāli pagriežamos atda­lītājus, šī prasība ir formāla, jo minētajiem atdalītājiem abi kon­takti (pusnaži) ir kustīgi.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.4. att. Vientransformatoru apakšstacijas blokshēma: I – vidēja sprieguma sadale,  II – transformators, III – pašpatēriņa  sadale, IY – zemsprieguma sadale |

Saskaņā ar standartu pie visiem principshēmā attēlotajiem elementiem jābūt burtu un ciparu apzīmēju­miem*.* Papildu in­formāciju par elementiem (tips vai marka, nosaukums, skaits) sniedz elementu sarakstā.

**7.3.2. Apakšstaciju sadales principshēmas.**

Izvēloties un novērtējot AS attiecīgās sadales shēmu, jāvadās no šādiem *vispārīgiem kritērijiem:*

* AS vieta un nozīme uzņēmuma elek­troapgādes sistēmā (GPA vai ceha AS, tranzīta vai gala AS u. c);
* nepieciešamā elektroapgādes drošuma pakāpe;
* AS elektroiekārtu re­montēšanas ērtums, ko kvantitatīvi novērtē ar elektroenerģijas pie­gādes pārtraukumu biežumu un ilgumu;
* operatīvā elastība (spēja ātri un ar mazu pārslēgšanas operāciju skaitu pāriet uz citu reāli sagaidāmu režīmu), ko kvantitatīvi novērtē ar operatīvo pārslēgumu skaitu, sarežģītību un ilgumu;
* AS paplašināšanas iespējas;
* ekono­miskums, ko nosaka, salīdzinot izdevumus tehniskā ziņā līdzvērtī­giem variantiem;
* uzskatāmība, vienkāršums un apkalpošanas dro­šība.

Apakšstacijām uz 6…10/04 kV, kas baro pilsētas, laukos un rūpniecības elektrouzņēmējus, izmanto visvienkāršākās shēmas. Visbiežāk lieto *nesekcionēta vienkopņu sistēma* (7.6. att. *a, b*). Tai ir vairākas pozitīvas īpašības:

* + vienkāršums un uzskatāmība;
  + ekonomiskums; nor­māli pievienojumu atslēdz tikai ar jaudas slēdzi, bet atdalītājus at­slēdz, tikai izvedot kādu shēmas elementu remontā;
  + shēmu var iz­mantot komplektajās sadalēs.

Apakšstacijas ievadu izpilda ar kabeļi vai ar kabeļa ieliktņi W. Augstsprieguma puse parasti uzstāda atvienotāju QS vai jaudas slēdzi QW komplektā ar drošinātāju FU. Zemsprieguma pusē uzstāda automātslēdžus QF ievada uz kopnēm 0,4 kV un uz aizejošam līnijām no kopnēm.

Shēmas galvenie *trūkumi:*

* izvedot remontā pievienojuma jaudas slēdzi, patērētāji paliek bez enerģijas;
* kopņu atdalītāja remonta laikā jāatslēdz visa sadale (tas pats notiek arī tad, ja ir īsslēgums kādā no aizejošajām līnijām un atsaka šīs līnijas jaudas slēdzis).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 7.5. att. Vientransformatora apakšstacijas vienlīnijas principiāla shēma | | | |
| FU  ***a*** | FU  ***b*** | FU  FU  ***c*** | ***d*** |

7.6. att. Nesekcionēta vienkopņu sis­tēma (*a*, *b*) un sekcionēta vienkopņu sistēma (*c*, *d*):

*KS* — kopņu sistēma.

Shēmu *izmanto* 6 kV vai 10 kV sprieguma vientransformatora apakšstacijām trešās kategorijas patērētāju barošanai;

*Sekcionēta vienkopņu sistēma* (7.6. att. *c*, *d*). Tā lielā mērā no­vērš trūkumus, kas bija raksturīgi nesekcionētai vienkopņu sistēmai.

Kopnes var sekcionēt:

* ar jaudas slēdzi sekcijslēdzim *QFB*, bet ja no AS baro atbildīgus elektrouzņēmējus, kuriem elektroapgādes pārtraukums pieļaujams tikai uz automātikas darbības laiku; resp., sekcijslēdzim *QFB* jābūt apgādātam ar auto­mātiskās rezerves ieslēgšanas (ARI) automātiku;
* ar atdalītājiem, ja nav nepieciešama barošanas ievadu auto­mātiska rezervēšana. Remonta un revīzijas ērtības labad sekcijas pa­rasti savieno ar diviem atdalītājiem *QS*4un *QS*5,kuru nekustīgie kontakti pievienoti pie kopnēm.

*Kopņu sekciju darba režīms* atkarīgs no īsslēguma strāvas vēr­tības, notiekot īsslēgumam uz kopnēm. Var būt divi gadījumi:

* atdalītāji *QS*1un *QS*2 ieslēgti, bet pats sekcijslēdzis *QFB* atslēgts. Līdz ar to normālā režīmā *sekcijas darbojas nesaistīti.* No­tiekot kādā no aizejošajām līnijām vai kopņu sekcijām īsslēgumam, strāva ir aptuveni divas reizes mazāka nekā tad, ja sekcijas dar­bojas saistīti. Tāpēc var izvēlēties vieglākus un lētākus komutācijas aparātus;
* normālā režīmā kopņu *sekcijas darbojas saistīti* (saslēgtas kopā). Šāds režīms izlīdzina slodzi barošanas transformatoros un ir attais­nojams tad, ja īsslēguma strāva ir neliela un var izvēlēties tādus pašus augstsprieguma aparātus kā tad, ja sekcijas darbojas ne­saistīti.

Shēmas *pozitīvās īpašības:*

* notiekot īsslēgumam uz kopnēm, at­slēdzas tikai viena kopņu sekcija;
* kopnes var remontēt pa sekcijām;
* notiekot īsslēgumam vienā no sekcijām vai kādā no pievienojumiem, otrā sekcijā saglabājas normālā režīma spriegums.

Shēmu visplašāk lieto divtransformatoru apakšstacijām. Ja katru kopņu sekciju baro no neatkarīga sprieguma avota, shēmu var izmantot 1. kategorijas elektrouzņēmēju barošanai;

Komplektas elektrosadales shēmas uz spriegumu 6…10 kV dotas 7.7 attēlā. Slēdža abas puses ir spraudkontakti, kas izpilda atvienotāja funkcijas. Shēma ar vienu sekcionētu kopnes sistēmu (7.7. att. *a*) tiek pielietota apakšstacijas ar transformatoriem bez šķeltajiem zemsprieguma tinumiem. Shēmas ar diviem sekcionētiem kopņu sistēmām parasti lieto transformatorus ar šķeltajiem tinumiem zemākā sprieguma pusē (7.7. att. *b*), katrs no kuriem paredzēts pusei no transformatora nominālās jaudas.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

7.7. att. Komplektas elektrosadales shēmas

2. *divkopņu sistēma* (7.8. att.). Abas kopņu sistēmas var būt darba kopnes un katrs pievienojums tām pieslēgts caur diviem at­dalītājiem un vienu jaudas slēdzi. Abas kopņu sistēmas *KS*1 un K*S*2 var savienot ar kopņu sajūgslēdzi *QF*4.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.8. att. Nesekcionēta divkopņu  sistēma. |

Shēmai ir divi raksturīgi *darba režīmi:*

* viena kopņu sistēma darbā un otra rezervē; kopņu sajūgslēdža atdalītāji *QS*9 un *QS*10 ieslēgti (lai ātrāk varētu izdarīt operatīvos pārslēgumus). Rezervē esošo kopņu sistēmu izmanto epizodiski — remontējot darba K*S;*
* abas kopņu sistēmas ir darbā vienlaicīgi un kopņu sajūgslēdzis ieslēgts. Pievienojumus pa kopņu sistēmām sadala tā, lai katrai no tām būtu pieslēgti barošanas avoti un patērētāji ar aptuveni vie­nādām jaudām, jo tad, vienai kopņu sistēmai atslēdzoties, otra kopņu sistēma paliek darbā. Šādu shēmas darbību sauc par *fiksēto pievienojumu režīmu.*

Ja pieņem, ka pirmā kopņu sistēma atradusies darbā, bet otrā — rezervē, tad pāreja no *KS*l uz K*S*2 notiek šādā secībā:

* dežurants vizuāli pārbauda kopnes;
* *QF*4 releju aizsardzību ieregulē momen­tānai darbībai;
* ieslēdz sajūgslēdzi, padodot spriegumu uz *KS*2;
* no­bloķē *QF*4, noņemot operatīvo spriegumu, lai, rodoties īsslēgumam kādā no līnijām, neatslēgtos sajūgslēdzis, bet attiecīgās līnijas jau­das slēdzis;
* ieslēdz otrās kopņu sistēmas atdalītājus *QS*3, *QS*5,... ;
* atslēdz pirmās kopņu sistēmas atdalītājus *QS*4, *QS*6, ...;
* padod operatīvo barošanu sajūgslēdzim un to atslēdz.

Shēmai ir šādas galvenās *priekšrocības:*

* var remontēt kopnes, neatslēdzot patērētājus, kuri tajā laikā pār­vesti uz otru kopņu sistēmu;
* remontējot kopņu atdalītājus, jāatslēdz tikai viens pievienojums;
* notiekot bojājumam uz kopnēm, patērētāji zaudē barošanu tikai uz laiku, kāds nepieciešams to pārslēgšanai uz otru kopņu sistēmu.

Kā shēmas *trūkumus* var atzīmēt

* nepieciešamību atslēgt pievienojumu, remontējot tā jaudas slēdzi vai atdalītājus;
* to, ka sadale, kas izveidota pēc šīs shēmas, ir ievērojami sarež­ģītāka un mazāk elastīga par vienkopņu sistēmu.

Shēmu lieto 20 kV un 35 kV sprieguma sadales, ja pievienojumu skaits *n* ≥ 11.

Bez aplūkotās divkopņu sistēmas shēmas pastāv arī tās modifikā­cijas, ko izmanto augstākiem spriegumiem: tajās var būt sekcionēta viena vai abas darba kopņu sistēmas un tām papildus pierīkota apejkopņu sistēma;

1. *bloku shēmas* (7.9. un 7.10. att.). Tajās divi vai vairāki tīkla elementi, piemēram, līnija un transformators, saslēgti virknē un darbojas nesaistīti ar citiem blokiem. Tādēļ viena elementa bojājums vai remonts izraisa bloka otra elementa atslēgšanu. Atkarībā no konkrētiem apstākļiem (elektriskā tīkla shēma, īsslēguma strāvu vēr­tības u. c.) bloka elementus savieno ar dažādiem komutācijas apa­rātiem. Daži raksturīgi šādu shēmu varianti, kurus praktizē GPA augstākā sprieguma pusē, parādīti 7.9. attēlā:

* *a shēmā* līnija pievienota transformatoram tikai caur atdalītāju. Šādu variantu var lietot, ja līnijas sākumā uzstādītā releju aiz­sardzība ir pietiekami jutīga pret bojājumiem transformatorā;
* *b shēma* no iepriekšējās atšķiras ar to, ka transformatora aug­stākā sprieguma pusē bez atdalītāja ierīkots vēl drošinātājs trans­formatora aizsardzībai;
* *c shēma* paredzēta gadījumam, kad releju aizsardzība līnijas sā­kumā nav pietiekami jutīga pret bojājumiem transformatorā. Te transformatora ātrdarbīgās aizsardzības iedarbojas uz īsslēdzēju, kas, radot mākslīgu īsslēgumu pēc releju aizsardzības komandas, pa­lielina īsslēguma strāvu līdz vērtībai, kāda nepieciešama releju aizsardzības nostrādei līnijas sākumā un bloka atslēgšanai ar jaudas slēdzi. Trūkums ir tas, ka tīklā jārada mākslīgs īsslēgums;
* *d shēma* raksturīga ar to, ka transformatora ātrdarbīgās aiz­sardzības iedarbojas uz teleatslēgšanas iekārtu, kura pa sakaru ka­nālu noraida atslēgšanas impulsu līnijas sākumā esošajam jaudas slēdzim. Šāds risinājums jāuzlūko par progresīvu, taču kā trūkums jāatzīmē sakaru kanāla nepieciešamība;
* *e shēma* ir dārgāka par iepriekš aplū­kotajām, jo transformatoram augstākā sprieguma pusē uzstādīts jaudas slēdzis. To pieļaujams lietot gadījumos, kad iepriekšējās — lētākās shēmas neapmie­rina tām izvirzītās prasības.

Visām 7.9. attēlā dotajām shēmām ko­pīgs ir tas, ka šīs shēmas *der tikai gala apakšstacijām, ja tās baro pa radiālām līnijām,* no kurām bez aplūkojamās AS netiek baroti citi patērētāji (atslēdzoties blokam, arī šie patērētāji paliktu bez elek­troenerģijas).

7.10. attēlā aplūkots gadījums, kad pa­tērētāju barošanai izmantoti divi bloki *(T*1*—L*3un *T*2*—L*4). Shēmas īpatnība ir tā, ka līnijas *L*3 un *L*4 nozarojas no ma­ģistrālajām līnijām *L*1 un *L*2, no kurām baro vairākas AS. Tāpēc, bojājoties vie­nam no blokiem, nav pieļaujams ilgstošs maģistrālo līniju *L*1 un *L*2 atslēgums ar jaudas slēdžiem *QF*1vai *QF*2*,* kas atrodas barošanas centrā *BC.* Ja transformatorā *T*1 notiek īsslēgums, transformatora releju aizsar­dzība padod komandu īsslēdzēja *QK*1ieslēgšanai. Īsslēguma strāva palielinās un kļūst pietiekama līnijas *L2* sākumā uzstādītās releju aizsardzības nostrādei, kā rezultātā atslēdzas jaudas slēdzis *QF2.* Bezstrāvas pauzē automātiski atslēdzas nodalītājs *QR*1, bet pēc da­žām sekundēm automātiskās atkārtotās ieslēgšanas (AAI) iekārta barošanas centrā ieslēdz atpakaļ jaudas slēdzi *QF2* un atjauno baro­šanu maģistrālajai līnijai *L*2. Pēc aplūkotā principa var darboties gan vientransformatora, gan divtransformatoru AS.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** | ***d*** | ***e*** |

7.9. att. Bloka līnija — transformators shēmas: *a* — ar atdalītāju pie trans­formatora, b — ar atdalītāju un drošinātāju pie transfor­matora, *c* — ar nodalītāju un īssledzēju pie transforma­tora, *d* — ar nodalītāju un teleatslēgšanas iekārtu, *e* — ar atdalītāju un jaudas slē­dzi pie transformatora.

7.10. attēlā dotajā divtransformatoru apakšstacijā elektroapgādes drošuma paaugstināšanai starp blokiem ar atdalītāju *QS*3un *QS*4starpniecību ierīkots t. s. *remonta pārvienojums.* Divus atdalītājus uzstāda aiz remonta ērtības apsvērumiem (kad abi atdalītāji atslēgti, var izdarīt pārvienojuma revīziju). Nor­mālā darba režīmā viens no at­dalītājiem atslēgts. Pretējā ga­dījumā, notiekot īsslēgumam vienā no līnijām, barošanas cen­trā atslēgtos abi jaudas slēdži un visas maģistrālēm *L*1un *L*2pieslēgtās AS paliktu bez sprie­guma. Ar remonta pārvienojumu saglabā darbā abas līnijas *L*3un *L*4viena transformatora remonta laika vai abus transformato­rus, remontējot vienu no līnijām;

|  |  |
| --- | --- |
| 7.10. att. Ar pārvienojumu saistītu bloku shēma. | 7.11. att. Tiltiņa shēma. |

3. *tiltiņa shēmas* (7.11. att.). Pie tam pieder divu bloku shēmas ar normāli ieslēgtu jaudas slēdzi pārvienojumā. 7.11. attēlā ar ne­pārtrauktām līnijām dots variants, kad tiltiņš ar slēdzi *QF*3 novie­tots transformatora pusē. To lieto, ja līnijas *L*1un *L*2ir garas. Re­latīvi bieži notiekot tajās avārijām, bojātā līnija tiek atslēgta tikai ar vienu jaudas slēdzi *QF*1vai *QF*2,bet abi transformatori paliek darbā. Ja turpretī barošanas līnijas ir īsas un sagaidāmi bieži ar režīma maiņu saistīti transformatora *T*1 vai *T*2 atslēgumi, tad tiltiņu liek līniju pusē (sk. slēdža *QF*3stāvokli ar svītrlīnijām), jo tad katrs transformators jāatslēdz ar vienu jaudas slēdzi, bet katra līnija — ar diviem slēdžiem. Lai saglabātu jaudas slēdža *QF*3re­monta laikā jaudas *S*12tranzīta iespējas caur AS, ar atdalītājiem *QS*1 un *QS*2 ierīko normāli pārtrauktu remonta pārvienojumu.

*Tiltiņa shēmas lieto* 20…220 kV sprieguma sadalēs ar četriem pievienojumiem: divas līnijas un divi transformatori. Visbiežāk til­tiņa shēmas izmanto tranzīta apakšstacijās, lai pieslēgtu abus trans­formatorus vienpusīgi vai divpusīgi barotai līnijai, pa kuru caur AS jānodod tranzīta jauda. Šīs jaudas drošai izvadīšanai caur projektē­jamo AS ir tāda pati nozīme kā transformatoru barošanai.

*Četrstūra shēmu* (7.12. att. *a*) lieto četru pārvienojumu – divas līnijas un divi transformatori – gadījumos, līnijas un transformatorus slēdz pamīšus. Visi pievienojumi pieslēgti caur slēdžiem. Shēma 7.12. att. *b* transformatori pieslēgti pie aizejošiem līnijām caur atdalītājiem.

*Pusotrkārtīgo shēmu* (7.13. att.) plaši lieto lielu elektrostaciju un 330-750 kV sprieguma sadalēm ar sešiem un vairāk pievienojumiem. Pusotrkārtīgā shēma shēmā katra ķēde starp kopņu sistēmām sastāv no trīs slēdžiem. Starp katriem diviem slēdžiem ir pieslēgts viens pievienojums, t.i., uz katru pievienojumu ir 1,5 slēdži. Shēma transformatori – kopnes ar līniju pievienojumiem caur diviem slēdžiem pielieto ja līniju skaits ir 3…4 (7.13. att. *a*). Ja līniju skaita ir 5-8 pielieto shēmu „transformatori - kopnes” ar pusotrkārtīgo līniju pievienojumiem (7.13. att. *b*). Bet ja uz apakšstacijām izmanto 8 un vairāk pievienojumus, tad izmanto pilno pusotrkārtīgo shēmu (7.13. att. *c*).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

7.12. att. Četrstūra shēma

**7. 4. MASTA TRANSFORMATORU PUNKTI**

Agrāk lauksaimniecībā bija koncentrētie slodžu centri (ciemati, fermas, ražotnes), kas bija pievienotas slēgta tipa TP (vairumā gadījumu ar 2x400 kVA jaudas transformatoriem). Tagad radās individuālo zemnieku saimniecību apvidū decentralizēti izvietotas 15-50 kW lielas slodzes.

Ņemot vērā viena patērētāja nelielos maksimālo slodžu apmērus (pašreiz aptuveni 15-20 kW), kas ģeogrāfiski attālināti cits no cita, par pamatprincipu lauku objektu elektroapgādē ir jāņem nelielas jaudas (25-100 kVA) masta transformatora punkti, novietoti pēc iespējas tuvu patēriņa vietai. Mazjaudīgu transformatoru tehniskie dati doti P.4.6. tabulā. No viena TP varētu saņemt elektrisko enerģiju 1...6 zemnieku saimniecības.

TP jāpieslēdz vistuvāk esošajai 20 kV augstsprieguma līnijai, maģistrālei vai nozarojumam, kā caurejošs (7.14. att.) vai kā gaisvadu līnijas gala elements (7.15. att. *b*). Ja TP ir ierīkots kā 20 kV gaisvadu līnijas nozarojuma apakšstacija (augstsprieguma līnija caurejoša), tad vadu nostiprināšanai pie balsta izmanto porcelāna tapizolatorus. Turpretī, ja TP ir 20 kV gaisvadu līnijas gala elements, tad ieteicams izmantot piekarizolatorus.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |

7.13. att. Apakšstacijas shēma ar diviem līnijas slēdžiem (a) un ar pusotriem līnijas slēdžiem

Masta transformatora punkta sadales tīkla shēma parādīta 7.14. att. No TP zemsprieguma sadales aiziet trīs fīderi, kuri var pievadīt elektrisko enerģiju 5-6, salīdzinoši nelielā attālumā izvietotām, zemnieku saimniecībām.

Kā piemērs (7.15. att.) parādītas plašāk izmantotās TP principshēmās.

20 kV maģistrāles dalīšanai vai nozarojuma atslēgšanai starpbalstā ir jāuzstāda komutācijas punkts ar atdalītāju, kam ir "ūsa" pastiprinātai slēgšanas spējas nodrošināšanai (aptuveni 25 A), kā arī drošinātāju. TP principshēma paradīta (7.15. att. *a*). Principshemu var vienkāršot, ja izmanto drošinātājatdalītājus (7.15. att. *b*).

Masta apakšstaciju principshēmās 20 kV pusē var veidot:

1) ar atdalītāju bez drošinātājiem;

2) ar drošinātājatdalītājiem;

3) ar atdalītāju un drošinātājiem;

4) bez atdalītāja un drošinātājiem.

Masta TP konstrukcija paradīta (7.16. att.). TP augstsprieguma pusē vispār var nelietot drošinātājus. Tie bieži izdega bez vajadzības un nespēja aizsargāt transformatorus. Tādēļ lieto ātrākas un jutīgākas aizsardzības apakšstacijās uz aizejošajiem 0,4 kV fīderiem, kā arī, apgādā transformatorus ar dzirksteļspraugām. Līdz ar to tika iegūta labāka transformatoru izturība pret pārspriegumiem. Turklāt transformatoriem netika lietota aizsardzība pret pārslodzēm.

|  |
| --- |
|  |

7.14. att. Masta transformatoru punkta sadales tikla shēma:

- augstsprieguma līnija;  - zemsprieguma līnija;  - transformatoru punkts; - sadales līnija;  - zemējuma punkts;  - slodzes ievads

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

7.15. att. TP principshēmās: *a* - ar atdalītāju un drošinātājiem; *b* - ar drošinātājatdalītāju (QSF - drošinātāj atdalītājs; QS - atdalītājs; FU - augstsprieguma drošinātājs; FV - ventiļtipa izlādnis; SF - drošinātāj slēdzis)

Zemsprieguma tīklu Latvijas apstākļos var izveidot gan ar gaisvadiem, gan ar parastajiem kabeļiem, gan arī ar AM KA markas izolētiem vadiem - piekarkabeļiem. Izvēloties kabeļu vadu šķērsgriezumu, pirmkārt, ir jāpārbauda vienfāzes īsslēguma strāvas lielums kabeļa galā un jāpārliecinās, vai tas nodrošinās drošinātāja izdegšanu bojājuma gadījumā. Otrkārt, jāpārbauda vai, palaižot elektrodzinējus, kura jauda sastāda aptuveni 0,8 no MTP jaudas, nenotiks sprieguma pazemināšanās tīklā vairāk nekā par 10% no *Unom*. Pretējā gadījumā dzinēju palaišana nebūs iespējama. Tādēļ ir jāizvēlas dzinēji ar fāžu rotora vai jāparedz pārslēdzis no zvaigznes slēguma trīsstūra slēgumā.

Masta apakšstacijās jāierīko darba un aizsardzības zemējumi:

a) darba zemējumam jāpievieno transformatora nulles vads, zemsprieguma līniju nullvadi un sadales nulles kopne;

b) aizsardzības zemējumam jāpievieno visas 20 kV iekārtu, sadales skapja u.c. metāla konstrukcijas, kas normāli neatrodas zem sprieguma.

Elektroenerģijas uzskaiti TP zemsprieguma sadalē neuzstāda.

TP augstsprieguma drošinātāju maiņu izdara elektromontieri no pieslietām kāpnēm, ja atdalītājs atslēgts un sazemēts, vai ar piemērotu montiera pacēlāju.

Galvenie TP tehniskie dati:

1) pilns autonomās ekspluatācijas aparatūras komplekts;

|  |
| --- |
|  |

7.16. att. Vienstatņa masta TP konstrukcija: a - caurejoša augstsprieguma līnija; b - augstsprieguma līnijas gala punkta apakšstacija; 1 - transformators, 2 - atdalītājs, 3 - ragizlādņi, 4 - atdalītāja piedziņa, 5 - zemsprieguma sadalne, 6 - 0,4 kV zemsprieguma piekarkabelis (AMKA), 7 - atsaites

2) maksimālā transformatoru jauda 100 kV-A, ja ir starptautiskie gabarīti;

3) spriegums 20/0,4 kV;

4) pievadi, izvadi: 20 kV pusē gaisvadi, 0,4 kV pusē gaisvadi, piekarkabeļi un kabeļi;

5) materiāli (ja ir 2 zemsprieguma izvadi): koksne - 0,78 m3, dzelzsbetons - 0,4 m3, tērauds - 40 kg, izolatori (augstsprieguma + zemsprieguma) - 9 gab.

Transformatoru punktus maksimāli tuvinot slodžu centriem (zemnieku saimniecībām), uzlabojas piegādātās elektroenerģijas kvalitāte, kā arī samazinās jaudas un sprieguma zudumi tīklā.

**7.5. SADALES KONSTRUKTĪVAIS IZVEIDOJUMS**

*Sadale* ir elektroenerģijas saņemšanai un sadalīšanai paredzēta elektroietaise, kas sastāv no komutācijas aparātiem, kopnēm, releju aizsardzības un automātikas ierīcēm, mēraparātiem un dažādiem palīgaparātiem (mērmaiņiem, aparātu piedziņām u. c).

Ierīkojot sadales, jāvadās no EIN, pazeminošo AS tehnoloģiskās projektēšanas normām, celtniecības normām un noteikumiem, ugunsdrošības normām un ci­tiem direktīviem materiāliem.

Ierīkojot augstsprieguma sadales, svarīgi ievērot *noteiktos* gabarī­tus starp dažādām strāvu vadošām daļām, kā arī starp strāvu vado­šām daļām un zemi. Iekštelpu sadalēs limi­tēti šādi attālumi (iekavās pie katra no tiem ilustrācijai norādīts mi­nimāli pieļaujamais attālums milimetros 10 kV sprieguma ietaisēs):

* no strāvu vadošām daļām līdz zemētām konstrukcijām un ēkas daļām (120);
* starp dažādu fāžu vadiem (130);
* no strāvu vadošām daļām līdz vienlaidu nožogojumiem (150);
* no strāvu vadošām daļām līdz sietveida nožogojumiem (220);
* starp dažādām ķēdēm piederošām nenožogotām strāvu vadošām daļām (2000);
* no neiežogotām strāvu vadošam daļām līdz grīdai (2500);
* no iekštelpu sadales iznākošiem neiežogotiem izvadiem līdz zemei, ja izvadi neiziet brīvgaisa sadales teritorija un zem tiem nav brauktuves (4500);
* no atslēgta atdalītāja naža līdz nekustīgajam kontaktam pie­vienotajai kopnei (150).

*Apkalpes koridoram* jābūt vismaz 1 m platam, ja sadales iekār­tas izvietotas vienā pusē, un 1,2 m platam, ja iekārtas izvietotas abās pusēs. Ja sadales garums nepārsniedz 7 m, pietiek ar vienam durvīm, kas veras uz ārpusi un apgādātas ar aizkritņa slēdzeni, kuru no iekšpuses var atvērt bez atslēgas, bet no ārpuses tikai ar atslēgu. Garākām sadalēm (7...60 m) jāierīko divas durvis. Pašu sadales telpu rekomendē izveidot bez logiem.

**6 kV un 10 kV sprieguma komplektās sadales.** Tās komplektē no rūpnieciski izgatavotām metāla kamerām, kurās, vadoties no attiecīgās sērijas kameru nomenklatūras, iebū­vēta aparatūra ar patērētājam nepieciešamiem parametriem (strāvmaiņu transformācijas koeficientu, spēka ķēžu nominālo strāvu, jau­das slēdžu atslēgšanas strāvu u. c). Ja atbilst kameru gabarīti, vienu sadali pieļauj komplektēt no dažādu sēriju kamerām. Kameru izvietojums sadalē vienā vai divās rindās atkarīgs no kameru skaita.

Aplūkosim kameru uzbūvi:

1) *KCO sērijas stacionārās kameras* (7.17. att.). Galvenā aparatūra (jaudas slēdzis, spriegummainis, pašpatēriņa transfor­mators u. c.) novietota *uz ratiņiem,* kurus remonta vai revī­ziju laikā var izvilkt no kameras. Ar metāla šķērssienām kamera sa­dalīta četros nodalījumos: jaudas slēdža, kopņu, strāvmaiņu, releju un mēraparātu nodalījumā. Atdalītāju funkcijas pilda trīspolu spraudkontakti. To nekustīgie kontakti ievietoti izolācijas cilindros un savienoti ar sadalkopnēm, bet kustīgie kontakti pievienoti jaudas slēdzim un pārvietojas reizē ar to. Uz ratiņiem novietotās aparatū­ras vadības un mērķēdes releju aizsardzības un mēraparātu noda­lījumam pievienotas ar spraudkontaktu un lokanu vadu pīni. Iz­velkamie ratiņi bloķēti ar zemēšanas nažiem, resp., nažus nevar ieslēgt, ratiņiem atrodoties darba stāvoklī, un ratiņus nevar iebīdīt darba stāvoklī, ja ieslēgti zemēšanas naži.

Izvelkamās kameras uzstāda lielākās un atbildīgākās iekārtās, jo šajās kamerās var ātri nomainīt galveno aparātu — jaudas slēdzi. Ja nav rezerves slēdža, bojātā atbildīgā pievienojuma jaudas slēdzi iespējams īslaicīgi aizstāt ar mazāk atbildīga pievienojuma slēdzi.

Pastāv daudzas *citas iekštelpu kameru sērijas,* kas atšķiras pēc konstrukcijas, iebūvētās aparatūras, shēmojuma variantu skaita vai elektriskajiem parametriem.

**7.6. ZEMSPRIEGUMA SADALES**.

Zemsprieguma sadalēm izvirza vairākas *vispārīgas prasības:*

* dažāda sprieguma un strāvas veida ķēdēm jābūt izpildītām un izvietotām tā, lai tās varētu viegli atšķirt un pazīt;
* jābūt paredzētām vietām, kur uzlikt pārnesamos zemējumus, jo zemsprieguma komutācijas aparātiem (svirslēdžiem, automātiem) nav īpašu zemēšanas nažu, ar kuriem iezemēt atslēgtās ķēdes remonta laikā;
* aparāti un ierīces jāizvieto tā, lai ekspluatācijā iespējamās dzirk­steles vai elektriskais loks neapdraudētu personālu un neizraisītu avārijas;
* pievienojumos ar automātiem jāparedz iespēja automāta remonta vai nomaiņas laikā atslēgt pievienojumu no sprieguma, piemēram, ierīkojot pirms automāta svirslēdzi;
* skrūvējamiem drošinātājiem barošanas vads jāpievada pie cen­trālā kontakta, bet aizejošais vads — pie vītņotās daļas;
* starp dažādas polaritātes strāvu vadošām daļām, kā arī starp strāvu vadošām un metāla strāvu nevadošām daļām attālums ne­drīkst būt mazāks par 20 mm pa izolācijas virsmu vai 12 mm pa gaisu;

|  |
| --- |
|  |

7.17. att. KCO sērijas stacionāras kameras uzbūve: 1 - saliekama kopņu nodalījums; 2 – aparātu un kabeļu pievienojumu nodalījums; 3 – relejas aizsardzības un komutācijas nodalījums; 4 – atvienotāja piedziņa; 5 – vakuumslēdža bloks; 6 – durvju.

* ja sadale ierīkota neelektrotehniskam personālam pieejamas tel­pās, tad sadales strāvu vadošajām daļām jābūt aizsargātām ar vien­laidu vai sietveida nožogojumu.

*Konstruktīvi* zemsprieguma sadales izveido no dažāda izmēra vienpusēji vai divpusēji apkalpojamiem metāla skapjiem (7.18. att.), kuros iemontēti komutācijas, aizsardzības aparāti un mēraparāti. Šos skap­jus izmanto gan zemsprieguma sadales komplektēšanai apakšstacijā, gan atsevišķi vai grupas uzstāda cehos pie elektrouzņēmējiem. To izmēri un iekšējais konstruktīvais izveidojums galvenokārt at­karīgs no pievienojumu (grupu) skaita, jaudas un komutācijas apa­rātu tipa. Zemsprieguma sadales principiālā shēma parādīta 7.19. attēlā.

Elektroenerģijas sadalīšanai no transformatoriem ar jaudu līdz 1000 kVA apakšstacijās veido arī komplektās iekštelpu zemsprie­guma *sadales*. Spēka un releju bloki ir izņemami, un tos ar nekustīgajām kameras daļām savieno spraudkontakti. Spēka blokiem ir bīdītāji, ar kuriem tos laideni var iebīdīt darba stāvoklī un izbīdīt no šī stāvokļa.

Augstsprieguma un zemsprieguma sadales parasti jāizvieto dažā­dās telpās. Vienā telpā tās pieļaujams izvietot tikai tad, ja abas sadales ekspluatē viena organizācija.

Mūsu valstī zemsprieguma sadaļu skapjus plašā sortimentā izgatavo AS Jauda.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

7.18. att. Zemsprieguma sadale: *a* – pretskats; *b* – kopņu sistēma

**7.7. TRANSFORMATORU APAKŠSTACIJU KOMPONĒJUMS**

Ar jēdzienu *komponējams* saprot apakšstacijas galveno mezglu (augstākā sprieguma sadale, transformatori, vidējā un zemākā sprie­guma sadale) un palīgelementu (iežogojumi, vadības pults vai telpa, zibensaizsardzība) savstarpējo izvietojumu un iekļaušanu uzņēmumu būvnieciskajā kompleksā. Visas AS kopīgais komponējums lielā mērā atkarīgs no atsevišķo sadaļu konstruktīvā izveidojuma.

Raksturīgākās patērētāju AS grupas paradītas 7.19. attēlā.

**7.7.1. GALVENĀS PAZEMINOŠĀS APAKŠSTACIJAS (GPA).**

Ja nav īpašu ierobežojumu (stiprs gaisa piesārņojums, nepie­tiekamas platības būvlaukums), 110 kV un 20 kV sprieguma sadales izveido atklāti, t. i., kā brīvgaisa sadales, turklāt 110 kV sadali veido pēc kādas no vienkāršotajām shēmām bez jaudas slēdžiem. Perspektīvā GPA 110 kV sprieguma brīvgaisa sadaļu vietā arvien plašāk lietos komplektās elegāzes sadales, kuras aizņem tikai dažus kvadrātmetrus lielu laukumu, tā­pēc visu AS var ievērojami tuvināt slodzes centriem. Rajona nozīmes pārvades tīkli raksturojas ar salīdzinoši lieliem līniju garumiem un vairākām sprieguma transformācijas pakāpēm. Šajos tīklos plaši lieto autotransformatorus. Autotransformatorus izmanto 220...330kV un augstāka nominālā sprieguma tīklos, un praktiski tie visi ir apgādāti ar RZS iekārtām.

6 kV un 10 kV sprieguma sadales var ierīkot gan kā iekštelpu, gan kā brīvgaisa sadales. Atkarībā no šīs sadales izvietojuma GPA teritorijā tai var būt tikai kabeļu izvadi vai arī gaisvadu līniju izvadi.

Transformatorus starp sadalēm izvieto tā, lai to izvadus varētu ērti savienot ar attiecīgā sprieguma sadali. Ja ASS un VSS novietotas vienā rindā, transformatorus uzstāda tuvāk ASS.

Apakšstacijai kopīgo vadības punktu (AVP), kurā atrodas vadī­bas panelis, dežūrpersonāla telpa un dažādas palīgtelpas, parasti kā vienstāva būvi savieto ar 6 kV un 10 kV sprieguma iekštelpu sadali.

Bez minētajām GPA struktūrvienībām var būt vēl citas būves (kompresoru ēka, eļļas saimniecības ēka) un iekārtas (remontportāls, kabeļkanāli, žogi u. tml.).

Brīvgaisa GPA komponējumu galvenie rādītāji ir AS laukums; apbūves laukums; kabeļkanālu garuma, kopņu veids un garums; iek­šējo ceļu garums.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.19. att. Zemsprieguma sadales shēma: I – galvenais sadalījuma skapis (IN līdz 6300 a); II – spēka skapis dzinēju vadībai (IN līdz 2500 A); III - sadalījuma skapis (IN līdz 2500 A); IY – elektrouzņēmēji. |

**7.7.2. APAKŠSTACIJAS 6…10/0,4 kV.**

Šīs apakšstacijas ir elektrotehniskas ietaises ar 25…2500 kVA jaudas transformatoriem. Tās paredzētas trīsfāžu maiņ­strāvas saņemšanai, pārveidošanai un sadalīšanai un sastāv no augstākā sprieguma saņemšanas iekārtas, transformatora un ze­mākā sprieguma sadales. Parasti AS ierīko bez īpašas augstākā sprieguma sadales; barošanas kabeli transformatoram pievieno tieši, caur atdalītāju vai slodzes slēdzi. 6 kV vai 10 kV sprieguma pusē komutācijas aparāti nepieciešami, ja vairākas AS baro no vienas maģistrāles (lai, atslēdzot vienu AS, nav jāpārtrauc barošana pā­rējām), ja transformators ar gāzes aizsardzību novietots vairākus simtus metru tālu (kļūst ekonomiski neizdevīgi ierīkot kontrolkabeļus) no barošanas GPA vai SP. Barojot no maģistrāles transformatorus ar jaudu *ST* ≥ 1000 kVA, augstākā sprieguma puse jāparedz slodzes slēdzis, jo ar atdalītājiem drīkst komutēt tikai 750 kVA un mazākas jaudas transformatoru tukšgaitas strāvu (7.20., 7.21. un 7.22. att.)..

Latvijā cehu AS parasti uzstāda 630 kVA vai 1000 kVA jaudas transformatorus; retāk — 25…400 kVA vai 1600…2500 kVA jaudas transformatorus.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.20. att. Segtas brīvgaisa vientransformatora apakšstacijas Eltehnika uzbūve (principiāla elektriska shēma paradīta 7.4. att.) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a***  ***b*** |  | |
| ***c*** | |  |

7.21. att. Iekštelpu komplekta transformatoru apakšstacija 630…1000 kV∙A: *a* – divtransformatoru KTA pretskats; *b* – KTA izvietojums vienā rindā; c - divtransformatoru KTA principiāla shēma; 1 – barošanas augstsprieguma kabelis; 2 – augstsprieguma ievadskapis; 3 – spēka transformators; 4 – zemsprieguma izvadskapis; 5 – mēraparātu nodalījums; 6 – ZS aizejošo līniju skapis; 7 – ZS sekcionēšanas skapis; 8 – kopņu kārba; 9 – kabeļu izvada logs.

Lai ierobežotu īsslēguma strāvu 0,4 kV sprieguma tīklā, divtransformatoru apakšstacijās normālā darba režīmā transformatori pa­rasti darbojas nesaistīti.

No ugunsdrošības apsvērumiem zem katra cehā atklāti uzstā­dīta transformatora vai citas aparatūras ar 60 kg un lielāku eļļas masu jābūt ierīkotam eļļas uztvērējam, kas konstruktīvi var būt izveidots divējādi:

* kā visam eļļas tilpumam paredzēta tilpne zem eļļu saturošā apa­rāta. Tā pārsegta ar metāla sietu, virs kura uzbērts 25 cm biezs akmens šķembu slānis. Eļļas aizdegšanās gadījumā, plūstot caur šķembām, degošā eļļa nodziest;
* kā tilpne, kas pārklāta ar sietu un spēj uztvert vismaz 20% no aparāta kopējā eļļas tilpuma. Novadcaurulei šī tilpne jāsavieno ar centralizētu eļļas uztveršanas rezervuāru.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  | 7.22. att. Segtas brīvgaisa komplektas divtransformatoru apakšstacijas uzbūve: 1 – spēka transformators; 2 - elektrokonvektors; 3 – zemsprieguma sadale 0,4 kV; 4 – KCO 10(6) kV; 5- aizsardzības signalizācijas sadale; 6 – uzskaites sadale; 7 – iekšējais skapis; 8 – sadale bez pārtraukuma barošanai |

Pēc komponējuma un konstrukcijas visas AS var iedalīt di­vās grupās:

1) *komplektās vientransformatora vai divtransformatoru apakš­stacijas* (KTA) ar viena transformatora jaudu līdz 2500 kVA. Tās ir transportablas un ērti samontējamas no rūpnieciski izgatavotiem sadales skapjiem, transformatoriem un citiem palīgmezgliem.

*Augstsprieguma ievadskapis* izgatavots no metāla un nostipri­nāts uz transformatora korpusa. Ievadskapī ierīkots slodzes slēdzis ar drošinātājiem: slo­dzes slēdzis paredzēts tukšgaitas un darba strāvu komutēšanai, bet drošinātājs — īsslēguma strāvu atslēgšanai. Barošanas augst­sprieguma kabeļa galam ir sausā apdare.

*Spēka transformatoram* ir dabiskā eļļas dzesēšana un paaugstinātas izturības hermētiska tvertne ar slāpekļa spilvenu. Ar sprieguma regulēšanu saistīto vijumu skaita maiņu transformatorā veic, to atslēdzot no tīkla. Lai varētu kontrolēt iekšējo spiedienu normālā režīmā, transformato­ram uzstādīts monovakuummetrs. Uz iekšēju bojājumu radītu strauju gāzes izdalīšanos reaģē spiediena relejs. Eļļas temperatūru tvert­nes augšējos slāņos kontrolē termosignalizators, bet eļļas līmeni rāda līmeņrādis.

|  |
| --- |
|  |

7.23. att. Divtransformatoru KTA principshēma

*Zemsprieguma sadale* sastāv no vairākiem metāla skapjiem ar aparātiem, kopnēm un iekšējā shēmojuma vadiem. Izvelkami automāti veic komutācijas un aizsardzības funk­cijas. Paši automāti darba stāvoklī iebīdīti skapjos, un tos vada ar rokturiem vai pogām, kas izvietotas uz attiecīgā sadales skapja durvīm. Mēraparāti un releji izvietoti īpašos skapju nodalījumos vai arī montēti uz skapju durvīm. Izvietojot KTA divās rindās, tās savieno ar kopņu tiltu, kas sastāv no kopnēm un tās aizsargājošā apvalka.

Jaunāko sēriju KTA sērijas automātus ar nominālo strāvu līdz 6300 A.

KTA izgatavo uzstādīšanai iekštelpās un brīvgaisa apstākļos. *Brīvgaisa* KTA savukārt iedala segtās, kurās visas elektroiekārtas un strāvu vadošās daļas ietvertas kopīgā korpusā, un atklātās brīv­gaisa KTA, kurās transformators, komutācijas aparāti un strāvu vadošas daļas uzstādītas atklāti (sk. 7.24. att.).

Atkarībā no ražošanas apstākļiem iekštelpu KTA novieto atse­višķā telpā vai aiz sietveida nožogojumiem tieši cehā (vēlams ār­pus celtņu darbības zonas). Katrā atklāti ierīkotā ceha KTA drīkst uzstādīt eļļas transformatorus ar summāro jaudu līdz 3200 kVA. Ja AS izvieto *otrajā stāvā,* summārā pieļau­jamā transformatoru jauda samazināta līdz 1000 kVA. Augstāk par otro stāvu eļļas transformatorus nedrīkst uzstādīt vispār. Tur jā­lieto sausie transformatori vai transformatori, kas pildīti ar nedegamu dzesējošo šķīdumu;

2) savrupas, piebūvētas vai iebūvētas nekomplektas transforma­toru apakšstacijas. Transformatori var būt izvietoti gan īpašās šim nolūkam izbūvētās kameras, gan arī atklāti. Nepieciešamības gadījumā, kad daļu augstsprieguma sadales apkalpo energosistēma, bet daļu — patērētājs, starp abām daļām ierīko nožogojumu. Šādas apakšsta­cijās mērķtiecīgi paredzēt arī atsevišķu telpu reaktīvās jaudas kom­pensācijas iekārtām.

Ja grupas AS atrodas pirmajā stāvā un transfor­matora kameras durvis iziet uz āru, transformatoriem ar eļļas masu līdz 600 kg īpaši eļļas uztvērēji nav jāierīko. Kamerām, ku­rās izvietoti transformatori ar lielāku eļļas tilpumu, paredz tikai eļļas aiztures slieksni.

Ventilācijai transformatoru telpās jābūt tādai, lai aizplūdes un pieplūdes gaisa temperatūru starpība nepārsniegtu 15°C. Ja to nevar nodrošināt dabiskā ventilācija, jārīko piespiedventilācija. Gaisa pieplūdei ierīko šahtu zem transformatora, bet aizplūdei — transformatora kameras augšdaļā.

Elektriskie sildelementi jāierīko atklāti vai neapkurinātās telpās uzstādītās sadales kamerās un vadības skapjos tajos gadījumos, kad to paredz ekspluatācijas instrukcijas.

**7.8. TRANSFORMATORU IZVĒLE APAKŠTACIJĀS**

Pilna transformatoru izvēle apakšstacijai jāveic pēc vairāku reāli konkurējošu variantu tehniski ekonomiska salīdzinājuma. Šeit ap­lūkoti tehniskie izvēles nosacījumi.

**7.8.1. Transformatora tipa izvēle.**

Izvēloties transformatora tipu, jāvadās pēc šādiem galvenajiem kritērijiem:

1. *pēc ekspluatācijas drošības*. Eļļas transformatoru izvietošana ražošanas telpās ir ierobežota. Tāpēc zināmos apstākļos jāizvēlas transformatori ar sauso izolāciju, kaut arī tie ir daudz dārgāki par eļļas transformatoriem;

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
|  |

7.24. att. Vientransformatora 110/6 kV vai 110/10 kV sprieguma brīvgaisa KTA ar nodalītāju un īsslēdzēju augstākā sprieguma pusē: 1 – līnijas vadi: 2 - zibensnovedējs portālā; 3 – pieņemšanas portāls; 4 – augstfrekvences sakaru aparatūra; 5, 8, 10 – līnijas atdalītāji; 6, 9 – atdalītāji pārvienojumā; 7, 15 - kopnes; 11 - īsslēdzējs; 12 - izlādnis; 13 – izlādnis un zemēšanas nazis transformatora neirtalē; 14 – spēka transformators; 16 – apakšstacijas transformators; 17 – sadale 10 kV; 18 – zibensnovedējs. 19 – sprieguma transformators; 20 – pārsprieguma novadītājs (zibensnovedējs); 21 – sekcijslēdzis; 22 - žogs.

1. *pēc tinumu skaita transformatorā*. Trīsspriegumu apakšstacijās vajadzīgos spriegumus var iegūt gan ar trīstinumu transfor­matoru, gan uzstādot divus divtinumu transformatorus. Pēdējais variants parasti ir dārgāks, un to lieto retos gadījumos, kad vidējā sprieguma slodze nepārsniedz 15% no zemākā sprieguma slodzes vai otrādi.

Atsevišķi jānovērtē iespēja uzstādīt GPA transformatorus ar šķel­tajiem tinumiem zemākā sprieguma pusē, katrs no kuriem paredzēts pusei no transformatora nominālās jaudas. Šādus transformatorus izgatavo ar 25 MVA un lielāku jaudu, lai ierobežotu īsslēguma strāvas. To izpildījumu transformatorus, kuriem viena šķeltā tinuma daļa paredzēta 6 kV, bet otra — 10 kV spriegumam, mērķtiecīgi uzstādīt rūpnīcās, kurās iekšējais augst­sprieguma tīkls izveidots ar 10 kV spriegumu, bet tehnoloģiskajā procesā izmanto 6 kV sprieguma dzinējus.

Autotransformatorus patērētāju apakšstacijās neizmanto, jo 20 kV sprieguma tīkls darbojas izolētas neitrāles režīmā, kas autotransformatoriem nav pieļaujams;

3) *pēc sprieguma regulēšanas veida*. Iespējami divi varianti:

* transformatori ar vijumu skaita maiņu augstākā sprieguma pusē zem slodzes, izmantojot RZS (regulēšana zem slodzes) tipa regulē­šanas iekārtu;
* transformatori ar PBI (pārslēgšana bez ierosmes) tipa regulē­šanas iekārtu, kuriem vijumu skaitu var izmainīt tikai tad, ja trans­formators atslēgts no sprieguma;

4) *pēc tinumu slēguma shēmas*. Augstākā sprieguma tinumus parasti savieno zvaigznē, jo tad starpvijumu izolāciju var paredzēt fāzes spriegumam. Zemākā sprieguma (6…20 kV) tinumus pār­svarā savieno trīsstūrī, paredzot tos fāzes strāvai. Bez tam šajā slēgumā nesimetriska slodze mazāk ietekmē līnijas spriegumu simetriju, jo trešās un tai kārtno augstāko harmoniku strāvas noslēdzas trīs­stūrī un neizplūst ārējā tīklā. Zvaigznes slēgumu ar zemētu neitrāli izmanto gadījumos, kad attiecīgā sprieguma tīklam jādarbojas ar efektīvi vai cieši zemētu neitrāli. Lauku patērētāju barošanai ietei­cams izmantot transformatorus, kuru sekundāros tinumus iespējams savienot zigzagslēgumā, jo šim slēgumam ir vairākus desmitus reižu mazāka nullsecības pretestība kā analogam zvaigzne—zvaigzne slēgumam.

Vienā uzņēmumā *izraudzīto transformatoru tipu skaitam jābūt minimālam,* jo tad ir ērtāka transformatoru parka ekspluatācija (pa­lielinās savstarpējās apmaināmības iespēja, samazinās nepiecieša­mais rezerves transformatoru skaits, unificējas apkalpošana).

**7.8.2. Transformatoru skaita izvēle**.

Te jāņem vērā tādi faktori kā

* elektrouzņēmēju drošuma kategorija;
* atbildīgo patērētāju rezer­vēšanas iespējas pa zemsprieguma tīklu;
* attiecīgās jaudas transfor­matora centralizētas rezerves (noliktavas rezerves) un nepieciešamo tehnisko līdzekļu esamība bojātā transformatora nomaiņai atļautajā laikā.

*Vienu transformatoru* uzstāda apakšstacijās, no kurām baro 3. ka­tegorijas elektrouzņēmējus. Pieļaujama arī 2. kategorijas elektrouzņēmēju barošana no šādas AS, ja iespējams vienas diennakts laikā bojāto transformatoru aizstāt ar centralizētās rezerves transforma­toru.

Pirmās kategorijas elektrouzņēmējus vientransformatora apakšstacijām drīkst pieslēgt tikai tad, ja ir automātiski pieslēdzama rezerves barošana no cita neatkarīga enerģijas avota pa zemsprieguma tīklu.

*Divus transformatorus* uzstāda visos pārējos gadījumos, ja nav īpašu prasību transformatoru skaita palielināšanai, jo diviem lielā­kas jaudas transformatoriem vienmēr ir labāki ekonomiskie rādītāji nekā trim vai četriem transformatoriem ar tādu pašu summāro jaudu. Atsevišķos gadījumos var izrādīties ekonomiski izdevīgi divtransformatoru AS ierīkot arī tad, ja no elektroapgādes drošuma apsvēru­miem pietiek ar vienu transformatoru, piemēram, ja ievērojamu slo­dzes daļu sastāda sezonas patērētāji.

*Vairāk kā divus transformatorus* (7.25. att.) uzstāda apakšstacijās šādos gadījumos:

* ja teritoriāli nelielā iecirknī koncentrēti tik lielas jaudas elektrouzņēmēji, ka to barošanai nepietiek ar diviem transformatoriem un nav mērķtiecīgi ierīkot divas atsevišķas AS;
* ja atsevišķām slodžu grupām, piemēram, apgaismei, ir paaugsti­nātas prasības pret elektroenerģijas kvalitāti un tās jābaro no at­sevišķa transformatora;
* ja trešais transformators pieslēgts neatkarīgam strāvas avotam un paredzēts 1. kategorijas īpašās grupas elektrouzņēmēju barošanai avārijas režīmos.

**7.8.3. Transformatora nominālās jaudas izvēle**,

Transformatora nominālās jaudas izvēle, ievērojot pieļaujamās pārslodzes. Transformatora nominālā jauda *SN* ir tāda šķie­tamā jauda (slodze), ar kuru var transformatoru slogot nepārtraukti visu tā darbmūžu nominālajā režīmā. Plānotais darbmūžs, vadoties no vijumu izolācijas normālās novecošanas apsvērumiem, noteikts 20 gadi. *Nominālais darba režīms* ir tāds, kad transformators ne­pārtraukti tiek slogots ar nemainīgu slodzi *S = SN* = const, barošanas spriegums atbilst nominālajam: *U = UN* un apkārtējās (dzesējošās) vides temperatūra *θ* = *θN* = 20°C = const.

|  |
| --- |
|  |

7.25. att. Segtas brīvgaisa apakšstacijas ar trim transformatoriem uzbūve

Reālie ekspluatācijas apstākļi atšķiras no nominālajiem, taču plānotais darbmūžs (20 gadi) jānodrošina. Darbmūžs ir atkarīgs no tinumu izolācijas stāvokļa, kas savukārt visvairāk atkarīgs no temperatūras, kādā izolācijai jādarbojas. Sakarību starp transfor­matora darbmūžu un tinumu temperatūru izsaka ar t. s. *sešu grādu likumu*:mainoties tinumu temperatūrai par 6°C uz augšu vai uz leju no nominālās (98°C), transformatora darbmūžs attiecīgi sa­mazinās vai palielinās divas reizes.

Pieļaujams zināmu laiku transformatoru pārslogot uz nepilnīgas no­slodzes rēķina citā laikā, bet tikai tā, lai atsevišķie transformatora elementi attiecīgās pārslodzes režīmā nepārsniegtu 7.2. tabulā dotās temperatūras.

Standarts paredz transformatoru darbību viena no diviem režīmiem — pieļaujamo sistemātisko slodžu režīmā un avārijas pārslodžu režīmā. Sagai­dāmais darba režīms jāņem vērā, izvēloties transformatora jaudu apakšstacijā, un tāpēc turpmāk aplūkots abu režīmu raksturs un pie­ļaujamības noteikšanas metodes.

7.2. tabula

**Normatīvā pieļaujamā virstemperatūra un temperatūra dažādām M (dabiskā eļļas) un D (piespiedu gaisa dzesēšana ar dabisku eļļas cirkulāciju) dzesēšanas sistēmas transformatora daļām, ja dzesējošās vides (gaisa) temperatūra vienāda ar 20°C un *U* ≤ 110 kV**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Transformatora daļas  nosaukums | Pieļaujama virstempera­tūra attiecībā pret gaisu nominālā režīmā, °C | Pieļaujamā temperatūra, °C | | |
| ilgstošā  režīmā | diennakts sistemā­tisko slodžu laikā | avārijas pārslodžu laikā |
| Eļļa augšējos slā­ņos  Tinums | 55  65 | 75  98 | 95  140 | 115  160 |

**Pieļaujamā sistemātiskā slodze** (pārslodze) ir tāda slodze, kas katrā darbības ciklā, piemēram, diennaktī, zināmu laiku var pār­sniegt transformatora nominālo jaudu uz nepilnīgas transformatora noslodzes rēķina pārējā darbības cikla laikā. Šādi slodzes cikli var turpināties ilgstoši, nesamazinot transformatora darbmūžu. Cikla slodzes, resp., sistemātiskās pārslodzes pieļaujamību pārbaudāma­jam transformatoram atkarībā no nepieciešamās precizitātes un rī­cībā esošās skaitļošanas tehnikas nosaka ar kādu no šādām me­todēm:

1) *ar precīzo metodi,* kura atsevišķo transformatora daļu (eļļas, tinumu) temperatūru ar pakāpjveida grafiku dotai slodzei paredz noteikt analītiski, izmantojot sakarības starp jaudas zudumiem transformatorā un dzesējošās eļļas temperatūru tvertnē. Zinot eļļas temperatūru, ar īpaša koeficienta starpniecību atrod tinuma tem­peratūru. Sistemātiskā pārslodze pieļaujama, ja

* eļļas un tinuma faktiskas temperatūras slodzes maksimuma laika nepārsniedz pieļaujamās vērtības, resp., *θe* ≤ 95°C un *θtin.* ≤ l40°C;
* vijumu izolācijas vidējā relatīvā novecošana *Fv* darbības cikla laikā (diennaktī) nepārsniedz nominālo, t. i., *Fv* ≤ 1;
* faktiskais slodzes maksimums nepārsniedz transformatora nomi­nālo jaudu vairāk kā 1,5 reizes.

Daudzpakāpju slodzes grafikam minēto parametru precīzs aprē­ķins ir visai sarežģīts un darbietilpīgs. Tādēļ precīzo metodi ietei­cams izmantot tad, kad rīcībā ir dators ar attiecīgu programmu;

2) ar pieļaujamās sistemātiskās slodzes tabulām (sistemātiskās pārslodzes tabulām). Šī ir inženierrēķinos biežāk lietotā metode, un tāpēc to aplūkosim detalizētāk. Tabulas sastādītas aplēses trans­formatoram (ar silšanas ziņā neizdevīgākajiem parametriem), kas slogots ar divpakāpju grafiku. Standartā dotas septiņas šādas tabulas diskrētām dzesējošās vides temperatū­rām (-20°C, -10°C, 0°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C). Ilustrācijai 7.3. tabula dota viena pieļaujamas sistemātiskās slodzes tabula.

Zīme « + » tabulā norāda, ka dotajā slodzes režīmā pieļaujamas sistemātiskās pārslodzes koeficients *K2pieļ.s* > 2,0. Tas ir pretrunā ar iepriekš minēto kritēriju, ka faktiskais slodzes maksimums nedrīkst pārsniegt transformatora nominālo jaudu vairāk nekā 1,5 reizes. Šādu slodzes režīmu gadījumā jālūdz izgatavotājrūpnīcai atļauja transformatoru slogot ar 1,5 < *K2pieļ.s* ≤ 2,0. Arī pasvītrotās *K2pieļ.s* vērtības drīkst izmantot tikai ar izgatavotājrūpnīcas atļauju. Pēc aplūkotās metodes trans­formatora slodzes spēju pārbauda šādā secībā:

a) veic iepriekšēju transformatora nominālās jaudas *SN* izvēli, izmantojot šim nolūkam transformatoru nominālo jaudu skalu un aprēķina (aplēses) slodzi *Sapl* uz transformatora zemākā sprieguma izvadiem:

*SN* ≈ (0,75…0,85) *Sapl*. (7.6)

7.3. tabula

**Pieļaujamās sistemātiskās slodzes tabula transformatoriem ar M un Д**

**dzesēšanas sistēmu, ja dzesējošās vides temperatūra ir 20 °C**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Koriģētais  ekvivalenta maksimuma ilgums *tp'*, h | *K*2*piel,s* sākumslodzes koeficienta *K*1vērtībām 0,25…1,0 | | | | | | | |
| 0,25 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,3 | 0,9 | 1,0 |
| 0,5 | + | + | + | + | + | 1,98 | 1,81 | 1,00 |
| 1,0 | + | 1,97 | 1,92 | 1,87 | 1,80 | 1.71 | 1,57 | 1,00 |
| 2,0 | 1,66 | 1,63 | 1,60 | 1,56 | 1,51 | 1,45 | 1,35 | 1,00 |
| 4,0 | 1,37 | 1,35 | 1,34 | 1,32 | 1,29 | 1,25 | 1,19 | 1,00 |
| 6,0 | 1,25 | 1,24 | 1,23 | 1,21 | 1,20 | 1,17 | 1,13 | 1,00 |
| 8,0 | 1,18 | 1,17 | 1,17 | 1,16 | 1,15 | 1,13 | 1,09 | 1,00 |
| 12,0 | 1,11 | 1,10 | 1,10 | 1,09 | 1,09 | 1,08 | 1,06 | 1,00 |
| 24,0 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Pēc transformatoru nominālo jaudu skalas izvēlas tuvāko transfor­matora jaudu, kas apmierina izteiksmi (7.5). Izraudzītais transfor­matora tips un nominālā jauda dod arī svarīgu papildinformāciju turpmākai transformatora slodzes spējas pārbaudei:

* transformatora tinumu dzesēšanas sistēmu (veidu);
* ziņas par transformatora silšanas laika konstanti τ. Ja τ vērtība nav norādīta transformatora pasē, tad transformatoriem ar M un D dzesēšanas sistēmu to tuvināti var pieņemt vienādu ar 3 h;

b) doto faktisko slodzes grafiku (parasti tas ir ziemas vai va­saras raksturīgais diennakts grafiks) pārveido izdalītā siltuma ziņā ekvivalentā divpakāpju grafikā. Pārveidošana nepieciešama tādēļ, lai pieļaujamās sistemātiskās pārslodzes noteikšanā varētu izmantot standartizētās tabulas, kuras derīgas tikai divpakāpju grafikiem. Pāreja no dotā daudzpakāpju grafika uz ekvivalento divpakāpju grafiku notiek šādā secībā (7.26. att.):

* novelk izraudzītā (pārbaudāmā) transformatora nominālās jau­das *SN* līniju, virs kuras faktiskajā slodzes grafikā paliek viens vai vairāki maksimumi;
* lielākā maksimuma laiks dod pārslodzes pakāpes (ekvivalentā maksimuma) ilgumu *tp*. Ja maksimumi ir apmēram vienādi, par no­teicošo jāizvēlas tas maksimums, kuram ir lielāka summa 2*Si*2*ti*;
* nosaka pārslodzes koeficienta *K*2 aplēses vērtību, izmantojot iz­teiksmi

 (7.7)

Ja iegūst *K*2*<* 0,9*Kmax* (sk. 7.26. att.), tad izdara korekciju un pie­ņem pārslodzes koeficientu *K'*2 *=* 0,9*Kmax,* attiecīgi koriģējot divpa­kāpju ekvivalentā maksimuma ilgumu:

 (7.8)

* nosaka *sākumslodzes koeficientu K*1 pēc slodzes grafika pārējās daļas, ieskaitot tajā arī pārējos maksimumus, piemēram, SS3 7.25. attēlā:

 (7.9)

1. *nosaka transformatoru dzesējošās vides* (gaisa) *temperatūru*. Reālos apstākļos šī temperatūra laikā mainās ar diennakts un gada ciklu. Aprēķinā izmanto izolācijas nolietojuma ziņā *ekvivalentu ne­mainīgu temperatūru θeg*, kuru atrod no standarta vasarai vai gadam. Rīgai šīs temperatūras attiecīgi ir — 4,8°C, 15,8°C un 8,9°C;

|  |
| --- |
| 7.26. att. Daudzpakāpju slodzes grafika pārveidošana ekvivalenta div­pakāpju grafikā. |

1. izmantojot noteiktos lielumus (ekvivalento dzesējošās vides temperatūru, transformatora dzesēšanas sistēmu), *izvēlas* *atbilstošo pieļaujamo slodžu tabulu*. Vadoties pēc koriģētā pārslodzes laika *t'p* un sākumslodzes koeficienta *K*1, izraudzītajā tabulā atrod pār­ slodzes koeficienta pieļaujamo vērtību *K*2*piel,s*. Parametru *K*1, *t'p* un *θeq* starp vērtībām, kuras tabulā nav dotas, atbilstošo *K*2*piel,s* vērtību atrod, lineāri interpolējot (tuvinātos rēķinos pieņem tuvākās lielākās attiecīgo parametru vērtības);
2. *salīdzina* pēc izteiksmes (7.6) *aprēķināto* un *koriģēto K'*2 *aprēķina* (*ap­lēses*) *vērtību ar tabulā atrasto pieļaujamo koeficienta vērtību un iz­dara slēdzienu.* Ja

*K*2*piel,s* ≥ *K'*2, (7.10)

tad izraudzītais transformators spēj ilgstoši darboties ar doto slo­dzes grafiku.

Ja *K'*2 un *K*2*piel.s* vērtības atrodas diapazonā 1,5…2,0, tad šādu transformatoru drīkst uzstādīt tikai ar izgatavotājrūpnīcas atļauju, jo tai ir precīza informācija par konkrētā tipa transformatoru pārslodzes spējas rezervēm.

Nesimetriski slogotiem transformatoriem jāpārbauda visvairāk noslogotā fāze, bet trīstinumu transformatoriem — visvairāk no­slogotais tinums.

Aplūkotās *metodes priekšrocība* salīdzinājumā ar precīzo metodi ir tā, ka ar šo metodi var ērti un bez sarežģītiem aprēķiniem no­teikt tādas sistemātiskās slodzes, kas izmanto transformatora slo­dzes spēju un nesamazina tā darbmūžu. Taču metodei ir arī divi būtiski *trūkumi*:

* to var izmantot tikai tad (tāpat kā precīzo metodi), ja zināms faktiskais slodzes grafiks, kāds tas ir ekspluatācijā. Projektējot jau­nus uzņēmumus, metodi izmantot grūtāk, jo slodzes grafiks zināms visai aptuveni (labākajā gadījumā pēc rokasgrāmatās dotajiem tip­veida grafikiem);
* metode neievēro temperatūras svārstības diennakts robežās, resp., nav ņemta vērā pieļaujamo pārslodžu atkarība no tā, kurā dien­nakts laikā transformators tiek pārslogots.

**Avārijas pārslodze** ir transformatora nominālās jaudas pārsnieg­šana īpašos gadījumos, kas saistīti ar avārijām un tām sekojošiem remontiem elektroapgādes sistēmā. Par *kritērijiem* avārijas pārslo­dzes pieļaujamības novērtēšanā izmanto pieļaujamo eļļas (*θe* ≤ 1150C) un pieļaujamo tinuma (*θtin* ≤ 160°C) temperatūru, virs kuras sākas ātra izolācijas sabrukšana, kā ari attiecību *Sapl*/*SN*, ku­rai jābūt mazākai par 2. Tā ka avārijas pārslodze rodas samērā reti un tiek novērsta dažu diennakšu laikā, tad atšķirībā no siste­mātiskajām pārslodzēm tai *netiek limitēta izolācijas relatīvā nove­cošana.*

Avārijas pārslodze ir raksturīga divtransformatoru apakšstaci­jām, kad sabojājas viena barošanas līnija vai viens transformators. Transformatora jaudas iepriekšējo izvēli šādām apakšstacijām, ja avārijas režīma laikā paredzēts no viena transformatora barot visu apakšstacijas slodzi, veic pēc sakarības

*SN*  ≈(0,65…0,7) *Sapl*. (7.11)

Avārijas pārslo­dzes pieļaujamību nosaka ar kādu no šādām metodēm:

1. *ar precīzo metodi*, kura (tāpat kā precīzā metode sistemātis­kās slodzes pieļaujamības pārbaudē) paredz analītisku transforma­tora eļļas un tinumu temperatūras aprēķinu ar ESM daudzpakāpju vai ekvivalentam divpakāpju slodzes grafikam. Lielākās aprēķināto temperatūru vērtības tiek salīdzinātas ar attiecīgo temperatūru pie­ ļaujamām vērtībām, un tiek izdarīts slēdziens par dotās avārijas pārslodzes pieļaujamību;

2) *ar tuvināto (tabulu) metodi.* Dotais reālais daudzpakāpju slodzes grafiks jāpārveido ekvivalentā divpakāpju grafikā, tāpat kā tas tika veikts, pārbaudot transformatora sistemātisko pārslodžu pie­ļaujamību (7.26. att.). Izmantojot sākumslodzes koeficientu *K*1, dzesējošās vides ekvivalento temperatūru *θekv* un koriģēto (nepieciešamības gadījumā) ekvivalentā maksimuma ilgumu *t'p*,attiecīgā avārijas pārslodzes tabulā atrod pieļaujamo avārijas pārslodzes koeficientu *K*2*piel,a*. Lai avārijas pārslodze būtu pieļaujama, jāizpildās nosacījumam

*K'*2 ≤ *K*2*pieļ,a*. (7.12)

Standartā dotas septiņas šādas avārijas pārslodzes tabulas diskrētām dzesējošās vides temperatūru vērtī­bām — 20 °C…40 °C robežās. Ilustrācijai 7.4. tabulā dota viena pieļaujamās avārijas pārslodzes tabula.

Jāpiebilst, ka bez jau aplūkotajām tabulām standarts dod arī 16 pilnīgākas tabulas, pēc kurām, izmantojot tādus pašus izejas lielumus kā 7.4. tabulā, var noteikt ne tikai *K*2*pieļ.a*, bet arī vijumu izolācijas relatīvo nolietojumu pārslodzes laikā.

7.4. tabula

**Pieļaujamās avārijas pārslodzes tabula transformatoriem ar M un Ddzesēšanas sistēmu, ja dzesējošās vides temperatūra ir 20 °C**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *t’p*, h | *K*2*pieļ,a* sākumslodzes koeficienta *K*1vērtībām 0,25…1,0 | | | | | | | |
| 0,25 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 0,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| 1,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,8 | 1,8 |
| 2,0 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 |
| 4,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| 6,0 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,4 | 1,3 |
| 8,0 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| 12,0 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| 24,0 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |

**7.8.4. Transformatoru (autotransformatoru) izvēle rajona apakšstacijai.**

Aprēķina metodika.

1. Sastāda tīkla apakšstacijas principiālo shēmu un atzīme sprieguma un jaudas vērtības.

2. Ja pie sadale pieslēgti divi transformatori (autotransformatori), tad transformatoru nominālo jaudu izvēlas no izteiksmes

*ST ≥* 0,7*Sa*, (7.13)

kur *Sa* – maksimāla (aplēses) jauda, MVA.

3. Izvēlētie autotransformatori (AT) jāpārbauda uz pārslodzi, t.i., zemsprieguma tinumu nedrīkst pārslogot

*Stip* ≥ *SZS = Spat*, (7.14)

*Stip = Klab·Sat·nat*, (7.15)

kur *Stip* – tipveida AT jauda, MVA;

*Klab* - AT labuma koeficients;

*Sat* - izvēlēta AT nomināla jauda, MVA;

*nat* - AT skaits;

*Spat* - zemsprieguma sadales slodze, MVA.

 (7.16)

kur *KT(AS–VS)* – autotransformatora transformācijas koeficients

 (7.17)

kur *UAS*, *UVS* – transformatoru apakšstacijas augstsprieguma un vidēja sprieguma vērtības, kV.

4. Aprēķina jaudas bilance tīkla apakšstacijai

*Svst = SL – S*1 – *S*2, (7.18)

kur *Svst* - jauda, kas atdota vidēja sprieguma tīklam, MVA;

*SL* – jauda no elektrostacijas pa augstsprieguma līnijai, MVA;

*S*1, *S*2 – patērētāju jaudas, MVA.

Ja rezultāts ir ap „+” zīme, tad jauda atdota vidēja sprieguma tīklam, bet ja ar „-” zīme, tad jauda saņemta no vidēja sprieguma tīkla.

5. Aprēķina noslodzes koeficientu

 (7.19)

**Piemērs**. Dotie lielumi: *SL* = 137 MVA; *UL* = 220 kV; *Uvst* = 110 kV; *P*1 = 30 MW; *U*1 = =35 kV; cos*φ*1 = 0,9; *P*2 = 50 MW; *U*2 = 10 kV; cos*φ*2 = 0,85.

Uzzīmēt tīkla apakšstacijas principiālo shēmu (7.27. att.) ar dotiem un aprēķinātiem lielumiem. Aprēķināt un izvēlēt transformatorus. Pārbaudīt autotransformatorus uz pārslodzi.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.27. att. Rajona apakšstacijas principiāla shēma |

Atrisinājums.

1. Patērētāju pilnas jaudas





2. Transformatoru un autotransformatoru aprēķina jaudas pēc maksimālam vērtībām

*Sat ≥ Sat.max* = 0,7*SL* = 0,7·137 = 95,9 MVA;

*ST ≥ ST.max* = 0,7*S*2 = 0,7·58,8 = 41,2 MVA.

3. Pēc P.4.3 un P.4.4 tabulām izvēlam transformatorus un autotransformatorus

|  |  |
| --- | --- |
| 2 x АТДЦТН 125000-220/110/35 | 2 х ТРДН 63000-110/10 |
| *Sat =*125 MVA | *ST =* 63 MVA |
| *UAS* = 230 kV | *UAS* = 115 kV |
| *UVS* = 110 kV | *UZS* = 10,5-10,5 kV |
| *UZS* = 38,5 kV | Δ*P*0 = 50 kW |
| Δ*P*0 = 65 kW | Δ*Pk* = 245 kW |
| Δ*Pk(AS-VS)* = 290 kW, *Uk(AS-VS)* = 11 % | *Uk* = 10,5 % |
| Δ*Pk(AS-ZS)* = 235 kW, *Uk(AS-ZS)* = 31 % | *I*0 = 0,5 % |
| Δ*Pk(VS-ZS)* = 230 kW, *Uk(VS-ZS)* = 19 % |  |
| *I*0 = 0,5 % |  |

4. Noslodzes koeficienti





5. Izvēlētie autotransformatori (AT) jāpārbauda uz pārslodzi

S*tip* = 2·62,5 MVA > S1 = 33,3 MVA;

*Stip = KlabSat* = 0,5·125 = 62.5 MVA;





Noteikums ir izpildīts pat ja strādā viens AT.

6. Apakšstacijas jaudas bilance

*Svst = SL – S*1 – *S*2 = 137 – 33,3 – 58,8 = 44,9 MVA.

*Svst* pozitīva vērtība nozīme, ka apakšstacija nodrošina patērētājus ar elektroenerģiju un pie tam 44,9 MVA atdeva vidēja sprieguma elektrotīklam.

**7.8.5. Ceha transformatoru izvēle.**

**Slodzes blīvuma metode**. Transformatoru skaitu un transformatoru jaudu, ja slodze nav koncentrēta, orientējoši var izvēlēt pēc *slodzes blīvuma*

*σ* = *Sa / F*, (7.20)

kur *Sa* – ceha (objekta) pilnā aplēses jauda;

*F* – ceha (objekta) ražošanas laukums.

Iebūvētās KTA gadījumā rekomendē cehā uzstādīt transformatorus ar nominālo jaudu:

1000 un 1600 kVA – ja σ < 0,2 kVA/m2;

1600 kVA – ja σ = 0,2 – 0,5 kVA/m2;

2500 un 1600 kVA – ja σ > 0,5 kVA/m2.

Ja KTA uzstāda atsevišķas telpas, tad pieņem sekojošas *SN* vērtības:

1000 un 1600 kVA – ja σ < 0,15 kVA/m2;

1600 kVA – ja σ = 0,15 – 0,35 kVA/m2;

2500 un 1600 kVA – ja σ > 0,35 kVA/m2.

*Ja slodze ir koncentrēta, tad transformatorus pēc slodzes blīvuma izvēlēt nedrīkst.*

Viena transformatora noslodze viena transformatora apakšstacijā apmēram vienāda ar nominālo jaudu. Transformatoru noslodzes koeficients divu transformatoru apakšstacijai nominālā režīmā ir *Kn* = 0,75…0,85.

Transformatora jaudas iepriekšējo izvēli divtransformatoru un trīstransformatoru apakšstacijām atkarīga no noslodzes koeficienta pēcavārijas režīmā *Kn av*. Eļļas transformatoriem, ja pēcavārijas režīma ilgums ne mazāk par 6 h, *Kn av* vērtība ne mazāka par *Kn av* ≤ 1,4. Sausiem transformatoriem robežvērtība *Kn av* = 1,2. Projektēšanas stadijā transformatora noslodze var izvēlēt izejot no koeficienta *Kn av* vērtībām 7.5. tabulā.

Pēc *Kn av* vērtībām notiek automātslēdžu vai drošinātāju izvēle zemsprieguma transformatoru ķēdē, ka arī salikto kopnes šķērsgriezuma izvēle.

Ja ir zināms transformatoru skaits *NT*, tad transformatoru nominālo jaudu *SN* var aprēķināt pēc izteiksmes

 (7.21)

Ja ir zināma transformatoru jauda, tad transformatoru skaitu aprēķina pēc formulas

 (7.22)

7.5. tabula

**Sakarība *Kn* no *Kn.av***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***Kn av*** | ***Kn*** | |
| **Divtransformatoru apakšstacija** | **Trīstransformatoru apakšstacija** |
| 1 | 0,5 | 0,666 |
| 1,1 | 0,55 | 0,735 |
| 1,2 | 0,6 | 0,8 |
| 1,3 | 0,65 | 0,86 |
| 1,4 | 0,7 | 0,93 |

**7.2. Piemērs.** Noteikt transformatoru jaudu un skaitu štancēšanas ceham ar aplēses jaudu *Sa* = 3800 kVA un ražošanas laukumu *F* = 14400 m2. Transformatorus uzstāda atklāti, patērētāju elektroapgāde pilnīgi rezervēta.

Atrisinājums. Pēc izteiksmi (7.20), aprēķinam slodzes blīvumu:



Ja *σ* = 0,26 kVA/m2 transformatoru jauda var pieņemt vienādu ar *SN* = 1600 kVA.

No ugunsdrošības viedokļa izvēlam KTA ar sausiem transformatoriem. Divtransformatoru apakšstacijām ar sauso transformatoru *Kn.av* = 1,2. Pēc 7.5. tabulas *Kn* = 0,6. Transformatoru skaitu var aprēķināt pēc formulas (7.22):



Tātad ceha elektroapgādei vajadzīgi divi divtransformatoru KTA, katra transformatora jauda ir 1600 kVA.

**Maksimuma koeficienta metode**. Ceha transformatoru jaudu un skaitu izvēle bāzējas uz maksimuma koeficienta metode (sakārtotas diagrammas metode), kas saistīts ar elektropatērētāju grupas maksimālo (aplēses) jaudas aprēķinu

*Pa = KM·Pv*; *Qa = K’M·Qv*;  (7.23)

kur *Pa* – maksimāla (aplēses) aktīva slodze, kW;

*Qa* – maksimāla (aplēses) reaktīva slodze, kVAr;

*Sa* – maksimāla (aplēses) pilnā jauda, kVA;

*KM* – aktīvas slodzes maksimuma koeficients;

*K’M* – reaktīvas slodzes maksimuma koeficients;

*Pv* – vidēja aktīva jauda ceha maiņai ar vislielāko slodzi, kW;

*Qv* – vidēja reaktīva jauda ceha maiņai ar vislielāko slodzi, kVAr.

*Pv = KI·PN*; *Qv = Pv*·tg*φ*, (7.24)

kur *KI* – izmantošanas koeficients, kas paņemts no ekspluatācijas pieredzi pēc 4.2. tabulas.

*PN* – patērētāju grupas nomināla aktīva slodze, kas reducēta uz ilgstošo darba režīmu, kW;

tg*φ* – reaktīvas jaudas koeficients;

*KM = f*(*KI, ne*) sakarību dod tabulas veidā (sk. 7.7. tabulu), bet ja tabulas nav *KM* vērtību var aprēķināt pēc formulas

 (7.25)

kur *ne* – elektropatērētāju efektīvais skaits;

*KI.vid* – vidējais izmantošanas koeficients patērētāju grupai,

 (7.26)

kur *Pv* Σ, *PN* Σ – aktīvas vidējas jaudas summa darba maiņa laikā un nominālas jaudas summa patērētāju grupai, kW;

*ne = f*(*n, m, KI.vid, PN*) var noteikt pēc vienkāršota varianta (7.6. tabula),

kur *n* – patērētāju faktiskais skaits grupā;

*m* – slodzes savilkšanas rādītājs grupā

 (7.27)

kur *PN max*, *PN min* – maksimāla un nomināla aktīva jauda, kas reducēta uz ilgstošo režīmu, patērētāju grupai.

Atbilstoši projektēšanas noteikumiem pieņemts *K’M* = 1,1, ja *ne* ≤ 10, un *K’M* = 1, ja *ne* > 10.

**Trīsfāžu patērētāju jaudas reducēšana uz ilgstošo režīmu**.

*Pu = PN* – patērētājiem ar ilgstošo darba režīmu;

- patērētājiem ar atkārtoti īslaicīgo režīmu;

- metināšanas transformatoriem;

*Pu = SN*cos*φ* – transformatoriem ilgstošā darba režīmā;

kur *Pu, PN* – uzstādīta (reducēta) un nomināla (pases) jauda, kW;

*SN* – pilnā nomināla jauda, kVA;

*ε* – ieslēgšanas ilgums, relatīvas vienības.

**Vienfāzes patērētāju reducēšana uz nosacīto trīsfāžu jaudu**.

Slodzes sadalījums pa fāzēm raksturojas ar nevienmērības koeficientu

 (7.28)

7.6. tabula

**Vienkāršotie varianti *ne* aprēķināšanai**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ***n*** | ***KI.vid*** | ***m*** | ***РN*** | ***ne*** |
| < 5 | ≥ 0,2 | ≥ 3 | Mainīga |  |
| ≥ 5 | ≥ 0,2 | ≥ 3 | Nemainīga | *ne = n* |
| ≥ 5 | ≥ 0,2 | < 3 | Mainīga | *ne = n* |
| ≥ 5 | < 0,2 | < 3 | *ne* neaprēķina, bet *Рa = KnPNΣ*, kur *Кn* — noslodzes koeficients  *Kn* = 0,75 (atkārtoti īslaicīgs režīms S3)  *Кn* = 0,9 (ilgstošais režīms S1) *Кn*= 1 (automātiskais režīms) |
| ≥ 5 | ≥ 0,2 | ≥ 3 |  |
| ≥ 5 | < 0,2 | ≥ 3 | Izmanto relatīvas vienības  *ne* = *ne\*·n*;  *ne\** = *f*(*n\**,*P\**);  *n\* = n*1/*n*; *P\** = *Pn*1/*PN.n* |
| > 300 | ≥ 0,2 | ≥ 3 | — | *ne = n* |

Piezīme. 7.7. tabulā: *Kn* – noslodzes koeficients; *ne\** - efektīvo patērētāju relatīvais skaits no 7.8. tabulas; *n*1 – patērētāju skaits ar jaudu lielāku vai vienādu ar 0,5*PN.max*; *n*\* - patērētāju ar vislielāko jaudu relatīvais skaits; *P\** - patērētāju ar vislielāko jaudu relatīva jauda.

7.7. tabula

**Maksimuma koeficients *КM* = *f(ne, КI*)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***ne*** | **Izmantošanas koeficients, *КI*** | | | | | | | | | |
| **0,1** | **0,15** | **0,2** | **0,3** | **0,4** | **0,5** | **0,6** | **0,7** | **0,8** | **0,9** |
| **4** | 3,43 | 3,22 | 2,64 | 2,14 | 1,87 | 1,65 | 1,46 | 1,29 | 1,14 | 1,05 |
| **5** | 3,23 | 2,87 | 2,42 | 2 | 1,76 | 1,57 | 1,41 | 1,26 | 1,12 | 1,04 |
| **6** | 3,04 | 2,64 | 2,24 | 1,88 | 1,66 | 1,51 | 1,37 | 1,23 | 1,1 | 1,04 |
| **7** | 2,88 | 2,48 | 2,1 | 1,8 | 1,58 | 1,45 | 1,33 | 1,21 | 1,09 | 1,04 |
| **8** | 2,72 | 2,31 | 1,99 | 1,72 | 1,52 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,08 | 1,04 |
| **9** | 2,56 | 2,2 | 1,9 | 1,65 | 1,47 | 1,37 | 1,28 | 1,18 | 1,08 | 1,03 |
| **10** | 2,42 | 2,1 | 1,84 | 1,6 | 1,43 | 1,34 | 1,26 | 1,16 | 1,07 | 1,03 |
| **12** | 2,24 | 1,96 | 1,75 | 1,52 | 1,36 | 1,28 | 1,23 | 1,15 | 1,07 | 1,03 |
| **14** | 2,1 | 1,85 | 1,67 | 1,45 | 1,32 | 1,25 | 1,2 | 1,13 | 1,07 | 1,03 |
| **16** | 1,99 | 1,77 | 1,61 | 1,41 | 1,28 | 1,23 | 1,18 | 1,12 | 1,07 | 1,03 |
| **18** | 1,91 | 1,7 | 1,55 | 1,37 | 1,26 | 1,21 | 1,16 | 1,11 | 1,06 | 1,03 |
| **20** | 1,84 | 1,65 | 1,5 | 1,34 | 1,24 | 1,2 | 1,15 | 1,11 | 1,06 | 1,03 |
| **25** | 1,71 | 1,55 | 1,4 | 1,28 | 1,21 | 1,17 | 1,14 | 1,1 | 1,06 | 1,03 |
| **30** | 1,62 | 1,46 | 1,34 | 1,24 | 1,19 | 1,16 | 1,13 | 1,1 | 1,05 | 1,03 |
| **35** | 1,25 | 1,41 | 1,3 | 1,21 | 1,17 | 1,15 | 1,12 | 1,09 | 1,05 | 1,02 |
| **40** | 1,5 | 1,37 | 1,27 | 1,19 | 1,15 | 1,13 | 1,12 | 1,09 | 1,05 | 1,02 |
| **45** | 1,45 | 1,33 | 1,25 | 1,17 | 1,14 | 1,12 | 1,11 | 1,08 | 1,04 | 1,02 |
| **50** | 1,4 | 1,3 | 1,23 | 1,16 | 1,14 | 1,11 | 1,1 | 1,08 | 1,04 | 1,02 |
| **60** | 1,32 | 1,25 | 1,19 | 1,14 | 1,12 | 1,1 | 1,09 | 1,07 | 1,03 | 1,02 |
| **70** | 1,27 | 1,22 | 1,17 | 1,12 | 1,1 | 1,1 | 1,09 | 1,06 | 1,03 | 1,02 |
| **80** | 1,25 | 1,2 | 1,15 | 1,11 | 1,1 | 1,1 | 1,08 | 1,06 | 1,03 | 1,02 |
| **90** | 1,23 | 1,18 | 1,13 | 1,1 | 1,09 | 1,09 | 1,08 | 1,06 | 1,02 | 1,02 |
| **100** | 1,21 | 1,17 | 1,12 | 1,1 | 1,08 | 1,08 | 1,07 | 1,05 | 1,02 | 1,02 |

7.8. tabula

***ne\** = *f(n\*, Р\**)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***n*\*** | ***P*\*** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,95 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 | 0,6 | 0,55 | 0,5 | 0,45 | 0,4 | 0,35 | | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0,15 | 0,1 |
| 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 0,007 | 0.007 | 0,009 | 0,01 | 0.011 | 0.013 | 0,016 | 0.019 | 0.024 | 0.03 | 0.03 | | 0,051 | 0.073 | 0,11 | 0,18 | 0,34 |
| 0.01 | 0.009 | 0.011 | 0.012 | 0,013 | 0,015 | 0,017 | 0,019 | 0,023 | 0.026 | 0,031 | 0.037 | 0,047 | 0.059 | 0,059 | | 0,1 | 0.14 | 0,2 | 0,32 | 0,52 |
| 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0.03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0.07 | 0,09 | 0.011 | 0.011 | | 0,019 | 0,026 | 0,36 | 0,51 | 0,71 |
| 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,16 | | 0,27 | 0,36 | 0,48 | 0,64 | 0,81 |
| 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,1 | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,22 | | 0,34 | 0,44 | 0,57 | 0,72 | 0,86 |
| 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,1 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,26 | 0,21 | | 0,41 | 0,51 | 0,64 | 0,79 | 0,9 |
| 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,18 | 0,21 | 0,26 | 0,31 | 0,27 | | 0,47 | 0,58 | 0,7 | 0,83 | 0,92 |
| 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,2 | 0,24 | 0,28 | 0,33 | 0,4 | 0,33 | | 0,57 | 0,68 | 0,79 | 0,89 | 0,94 |
| 0,10 | 0,09 | 0,1 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,22 | 0,25 | 0,29 | 0,34 | 0,4 | 0,47 | 0,38 | | 0,66 | 0,70 | 0,85 | 0,92 | 0,95 |
| 0,15 | 0,14 | 0,16 | 0,17 | 0,2 | 0,23 | 0,25 | 0,28 | 0,32 | 0,37 | 0,42 | 0,48 | 0,56 | 0,67 | 0,48 | | 0,8 | 0,88 | 0,93 | 0,95 |  |
| 0,20 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,26 | 0,29 | 0,33 | 0,37 | 0,42 | 0,47 | 0,54 | 0,64 | 0,69 | 0,76 | 0,56 | | 0.89 | 0,93 | 0,95 |  |  |
| 0,25 | 0,24 | 0,26 | 0,29 | 0,32 | 0,36 | 0,41 | 0,45 | 0,51 | 0,57 | 0,64 | 0,71 | 0,78 | 0,85 | | 0,72 | 0,83 | 0,95 |  |  |  |
| 0,30 | 0,29 | 0,32 | 0,35 | 0,39 | 0,43 | 0,48 | 0,53 | 0,6 | 0,66 | 0,73 | 0,8 | 0,86 | 0,9 | | 0,84 | 0,95 |  |  |  |  |
| 035 | 0,33 | 0,37 | 0,41 | 0,45 | 0,5 | 0,56 | 0,62 | 0,68 | 0,74 | 0,81 | 0,86 | 0,91 | 0,94 | | 0,95 |  |  |  |  |  |
| 0.4 | 0,38 | 0,42 | 0,47 | 0,52 | 0,57 | 0,63 | 0,69 | 0,75 | 0,81 | 0,86 | 0,91 | 0,93 | 0,95 | |  |  |  |  |  |  |
| 0,45 | 0,43 | 0,47 | 0,52 | 0,58 | 0,64 | 0,7 | 0,76 | 0,81 | 0,87 | 0,91 | 0,93 | 0,95 |  | |  |  |  |  |  |  |
| 0,5 | 0,48 | 0,53 | 0,58 | 0,64 | 0,7 | 0,76 | 0,82 | 0,89 | 0,91 | 0,94 | 0,95 |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| 0,55 | 0,52 | 0,57 | 0,63 | 0,69 | 0,75 | 0,82 | 0,87 | 0,91 | 0,94 | 0,95 |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| 0,6 | 0,57 | 0,63 | 0,69 | 0,75 | 0,81 | 0,87 | 0,91 | 0,94 | 0,95 |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| 0,65 | 0,62 | 0,68 | 0,74 | 0,81 | 0,86 | 0,91 | 0,94 | 0,95 |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| 0,7 | 0,66 | 0,73 | 0,8 | 0,86 | 0,9 | 0,94 | 0,95 |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| 0,75 | 0,71 | 0,78 | 0,85 | 0,9 | 0,93 | 0,95 |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| 0,8 | 0,76 | 0,83 | 0,89 | 0,94 | 0,95 |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| 0,85 | 0,8 | 0,88 | 0,94 | 0,95 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| 0,9 | 0,85 | 0,92 | 0,95 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |
| 1,0 | 0,95 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |  |  |

kur *Pf.max*, *Pf.min* – maksimāla un minimāla slodze starp fāzēm, kW.

Ja *Knev* > 15 % un slodze ieslēgta uz fāzes spriegumiem, tad

 (7.29)

kur - nosacīta trīsfāžu jauda (reducēta), kW;

- maksimāla fāzes slodze, kW;

Ja *Knev* > 15 % un slodze ieslēgta uz līnijas spriegumiem, tad

 - vienam patērētājam; (7.30)

 - vairākiem patērētājiem. (7.31)

Ja *Knev* < 15 %, tad *Pu* vienāda ar vienfāzes patērētāju slodzes summu.

**Jaudas zudumi transformatorā**.

Aptuveni jaudas zudumi transformatorā var aprēķināt pēc sakarībām

Δ*P* = 0,02*SZS*; (7.32)

Δ*Q* = 0,1*SZS*; (7.33)

 (7.34)

*SAS = SZS* + Δ*S*. (7.35)

**Visvairāk noslogotas fāzes noteikšana**.

Ja vienfāzes patērētāji ieslēgti uz līnijas spriegumiem (7.28. att.), tad atsevišķas fāzes slodzes aprēķina pēc izteiksmēm

   (7.36)

|  |  |
| --- | --- |
| 7.28. att. Vienfāzes slodzes ieslēgšana uz līnijas spriegumiem | 7.29. att. Vienfāzes slodzes ieslēgšana uz fāzes spriegumiem |

No iegūtiem rezultātiem tālāk izmanto vislielāko vērtību.

Ja vienfāzes patērētāji ieslēgti uz fāzes spriegumiem (7.29. att.), tad atsevišķas fāzes slodze ir summa no visām slodzēm, kas pieslēgti uz šo fāzi.

**7.3. Piemērs.** Objekts – mašīnbūves cehs, 350 m2. Elektroapgādes 1. drošuma kategorija. Elektropatērētāju tehniskie dati doti 7.9. tabulā.

Sastādīt ceha elektroapgādes shēmu, aprēķināt slodzes, izvēlēt transformatoru apakšstaciju (TA) 10/0,4.

Atrisinājums.

1. Visus patērētājus sadala pa grupām: trīsfāžu ar ilgstošo darba režīmu (IDR), trīsfāžu ar atkārtoti īslaicīgo režīmu (AĪR), vienfāzes ar IDR, vienfāzes ar AĪR apgaismes iekārtas (AI).

7.9. tabula

**Ceha elektropatērētāji**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nr. p.k.** | **Elektropatērētāja nosaukums** | ***РN*, kW** | ***n*** | ***KI*** | **соsφ** | **tgφ** |
| 1 | **Trīsfāžu IDR**  Kompresoru iekārta | 28 | 5 | 0,65 | 0,8 | 0,75 |
| 2 | Karuseļvirpa | 40 | 2 | 0,14 | 0,5 | 1,73 |
| 3 | Elektriskā pretestības krāsns | 35 | 6 | 0,8 | 0,95 | 0,33 |
| 4 | Rulīštransportieris | 10 | 3 | 0,55 | 0,75 | 0,88 |
| 5 | **Trīsfāžu AIR**  Transporta telfers, ε = 60 % | 10 | 3 | 0,1 | 0,5 | 1,73 |
| 6 | **Vienfāzes AIR**  Metināšanas transformators, ε = 40 % | 28 кВА | 5 | 0,2 | 0,4 | 2,29 |
| 7 | **Apgaismes iekārta**  Gāzizlādes spuldzes | 9-11 W/m2 |  | 0,85 | 0,95 | 0,33 |

Izvēlas sadales iekārtas: sadales kopņvads (SK), sadales punkts (SP), apgaismes sadales punkts (ASP).

Tā kā patērētājs atbilst 1. drošuma kategorijas, tad TA – divtransformatoru un starp sekcijas uzstāda ARI (automātiskā rezerves ieslēgšana).

Sadales izvēle: sadales punkts 1 (SP1) – trīsfāžu AĪR patērētājiem, SP2 – vienfāzes AĪR patērētājiem, ASP, SK1 un SK2 – trīsfāžu IDR patērētājiem. Tāda sadales izvēle atļauj izlīdzināt slodzes un sastādīt ceha elektroapgādes shēmu (7.30. att.).

2. Trīsfāžu AĪR patērētāja slodze ilgstoša režīmā



|  |
| --- |
|  |

7.30. Ceha elektroapgādes shēma.

|  |  |
| --- | --- |
| 3. Vienfāzes AĪR patērētāju pārveido ilgstoša režīmā un pēc tam uz nosacīto trīsfāžu režīmu (7.31. att.) | 7.31. att. Vienfāzes slodzes sadalījums pa  fāzēm |





tad



4. Ar īpatnējas slodzes metodi aprēķina apgaismes patērētāja slodze

*Papg = Pīp·F* = 10·350 = 3500 W = 3,5 kW.

5. Slodzes sadalījums pa sekcijām:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 sekcija | Uzstādīta slodze, kW | | 2 sekcija |
| SP1 |  |  | SP2 |
| Telfers 3,9 х 8 | 31,2 | 42,6 | 42,6 Metināšanas transformators |
|  |  |  | ASP |
|  |  | 3,5 | 3,5 |
| SK1 |  |  | SK2 |
| Kompresoru iekārta 28 х 3 | 84 | 56 | 28 х 2 Kompresoru iekārta |
| Karuseļvirpa 40 х 1 | 40 | 40 | 40 х 1 Karuseļvirpa |
| Elektriskā pretestības krāsns 35 x 3 | 105 | 105 | 35 x 3 Elektriskā pretestības krāsns |
| Transportieris 10 x 1 | 10 | 20 | 10 x 2 Transportieris |
| KOPĀ | 270,2 | 267,1 | KOPĀ |

6. Sastāda ceha slodzes sarakstu (7.10. tabula). Izejošos datus ieraksta 1, 2, 3, 5, 6, 7 stabiņos.

7. Patērētāju summāro aktīvo nominālo slodzi aprēķina pēc formulas *PNΣ = n·PN* un ieraksta 4. stabiņā, izņemot SP2 ar vienfāzes patērētājiem un ASP.

Tā kā pie sadalēm SP1, SP2, ASP pieslēgti viena nosaukuma patērētāji, tad papildu aprēķini viņiem nav vajadzīgi.

8. Slodzes aprēķins sadales kopņvadiem SK1 un SK2.

Grupas slodzes savilkšanas rādītājs (8. stabiņš)

SK1 un SK2 - 

Vidējo aktīvo, reaktīvo un pilno jaudu aprēķina pēc formulām

*Pv = KI·PN*; *Qv = Pv*·tg*φ*, 

un rezultātus ieraksta 5, 6 un 7. stabiņos.

Aprēķina vidēji grupas koeficienti



un rezultātus ieraksta 5, 6 un 7 stabiņos.

Efektīvo patērētāju skaitu atrod no 7.6. un 7.7. tabulas

*ne* = *f*(*n, m, KI.vid, PN*) = *f* (8; > 3; > 0,2; mainīga) = 8,

jo šajā gadījumā

SK1 - 

SK2 - 

bet, ja *ne > n*, tad *ne = n* = 8. Rezultātu ieraksta 12. stabiņā.

Maksimuma koeficientu atrod no 7.7. tabulas

SK1 - *KM* = *f*(*KI.v*, *ne*) = *f*(0,63; 8) = 1,27;

SK2 - *KM* = *f*(*KI.v*, *ne*) = *f*(0,62; 8) = 1,28.

Rezultātu ieraksta 13. stabiņā.

Aprēķina maksimālas (aplēses) jaudas

*Pa = KM·Pv*; *Qa = K’M·Qv*; 

un rezultātus ieraksta 15, 16 un 17 stabiņos.

9. Aprēķina aplēses strāvas (18. stabiņš)











10. Aprēķina jaudas zudumus transformatorā

Δ*PT*= 0,02·*SZS* =0,02·473,1 = 9,5 kW;

Δ*QT* = 0,1·*SZS* = 0,1·473,1 = 47,3 kVAr;



11. Aprēķina transformatora jaudu augstsprieguma pusē

*SAS* = *SZS* + Δ*S* = 473,1 + 48,3 = 521,4 kVA.

12. Aprēķina nepieciešamo transformatoru jaudu, ieskaitot zudumus, bet bez reaktīvas jaudas kompensēšanos

*ST* ≥ *Sa* = 0,7·*SAS* = 0,7·521,4 = 365 kVA.

7.10. tabula

**Ceha slodzes saraksts**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sadales un patērētāju nosaukums** | **Uzstādīta slodze** | | | | | | | **Vidēja slodze** | | | | | | **Maksimāla (aplēses) slodze** | | | |
| *PN*,  kW | *n* | *PN* Σ, kW | *KI* | cos*φ* | tg*φ* | *m* | *Pv*, kW | *Qv*,  kVAr | *Sv*,  kVA | *ne* | *KM* | *K’M* | *Pa*,  kW | *Qa*,  kVAr | *Sa*,  kVA | *Ia*,  A |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| **SP1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Transporta telfers, *ε* = 60 % | 5  3.9 | 8 | 31,2 | 0,3 | 0,5 | 1,73 |  | 9,4 | 16,3 | 18,8 |  |  |  | 9,4 | 16,3 | 18,8 | 28,6 |
| **SP2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Metināšanas transformators, vienf., *ε* = 40 % | 7,1 | 5 | 42,6 | 0,2 | 0,4 | 2,29 |  | 8,5 | 19,5 | 21,3 |  |  |  | 8,5 | 19,5 | 21,3 | 32,4 |
| **SK1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Kompresoru iekārta Karuseļvirpa | 28  40 | 3  1 | 84  40 | 0,65  0,14 | 0,8  0,5 | 0,75  0,73 |  | 54,6  5,6 | 41  9,7 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Elektriskā pretestības krāsns | 35 | 3 | 105 | 0,8 | 0,95 | 0,33 |  | 84 | 27,7 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Rulīštransportieris | 10 | 1 | 10 | 0,55 | 0,75 | 0,88 |  | 5,5 | 4,8 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Kopā uz SK1 | — | 8 | 239 | 0,63 | 0,87 | 0,56 | >3 | 149,7 | 83,2 | 171,3 | 8 | 1,3 | 1,1 | 194,6 | 91,5 | 215 | 326,8 |
| **SK2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Kompresoru iekārta Karuseļvirpa | 28  40 | 2  1 | 56  40 | 0,65  0,14 | 0,8  0,5 | 0,75  1,73 |  | 36,4  6,6 | 27,3  9,7 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Elektriskā pretestības krāsns | 35 | 3 | 105 | 0,8 | 0,95 | 0,33 |  | 84 | 27,7 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Rulīštransportieris | 10 | 2 | 20 | 0,55 | 0,75 | 0,88 |  | 11 | 9,7 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Kopā uz SK2 | — | 8 | 221 | 0,62 | 0,88 | 0,63 | >3 | 137 | 74,4 | 155,9 | 8 | 1,3 | 1,1 | 178,1 | 81,8 | 196 | 297,9 |
| **ASP**  Apgaismes iekārtas ar gāzizlādes spuldzēm |  |  | 3,5 | 0,85 | 0,95 | 0,33 |  | 3 | 1 | 3,2 |  |  |  | 3 | 1 | 3,2 | 4,9 |
| Kopā uz ZS |  |  |  |  |  |  |  | 307,6 | 194,4 | 363,9 | — | — | — | 393,6 | 210,1 | 473,1 | — |
| Zudumi |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 9,5 | 47,3 | 48,3 | — |
| Kopā uz AS |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 403,1 | 257,4 | 521,4 | — |

13. Tātad, izvēlam KTA 2 x 400 – 10/0,4 ar diviem transformatoriem TM 400 – 10/0,4.

Transformatora tehniskie dati: *RT* = 5,6 mΩ; *XT* = 14,9 mΩ; *ZT* = 15,9 mΩ;  Δ*P*0 = 0,95 kW; Δ*Pk* = 5,5 kW; *Uk* = 4,5 %; *I*0 = 2,1 %.

14. Transformatora noslodzes koeficients



**7.9. ELEKTRISKO LIELUMU MĒRĪJUMI APAKŠSTACIJAS.**

Elektriskos mērījumus apakšstacijas veic, lai uzskaitītu elektroenerģiju; kontrolētu elektroiekārtu darba režīmu; kontrolētu elektroenerģijas kvalitāti; kontrolētu izolācijas stāvokli tīklā ar izolētu neitrāli.

**7.9.1. Elektroenerģijas uzskaite.**

Galvenais uzskaites elements ir elektroenerģijas skaitītājs. Atkarībā no patērētāju tipa tie ir vienfāžu vai trīsfāžu skaitītāji. Pašlaik Latvijā par uzskaites skaitītajiem saka izmantot elektroniskos skaitītājus ELGAMA. Vienfāzes elektroenerģijas skaitītajā GEM ārējais izskats paradīts 7.32. attēlā.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.32. att. Skaitītajā GEM ārējais  izskats. |

***Elektroenerģijas skaitītājs GEM*** pielietojams elektroenerģijas uzskaitei vienfāžu elektriskā tīklā ar frekvenci 50 Hz vai 60 Hz. Elektroenerģijas skaitītājus GEM var arī izmantot automatizētās uzskaites un kontroles sistēmās. Skaitītājs aprīkots ar elektrisko interfeisu un telemetrisko izeju.

**Konstrukcija.** Elektroenerģijas skaitītāja GEM elementi iemontēti ērtā taisnstūra korpusā, kurš ērti ievietojas elektrotehniskā skapī. Skaitītāja korpuss, stiprinājuma vietas un klemju kārba atbilst IEC1036 un DIN 43857 standarta prasībām. Skaitītāja panelis aizsargāts ar caurspīdīgu ļoti izturīgu logu, kurš izgatavots no ultravioleto staru stabilizēta polikarbonāta. Logs stiprinās ar divām plombētam skrūvēm.

Elektroenerģijas skaitītājs GEM ir pilnīgi elektronisks un nesatur mehāniskas un kustošas daļas. Priekšējā logā novietoti šķidro kristālu indikators, gaismas diode, optiskā interfeisa fotodevējs ar kura palīdzību var mainīt informāciju šķidrā kristāla indikatorā. Uz priekšējā paneļa informācija atbilst IEC 1036 standartam. Zem paneļa uz montāžas plates, nosegtas ar slēgtu metāla ekrānu samontēti visi skaitītāja elementi. Skaitītāja klemju panelis savienots ar korpusu ar divām skrūvēm.

Klemju panelī ir padziļinājums, kurā novietota litija baterija. Baterija nodrošina pulksteņa un šķidro kristālu indikatora darbību pie atslēgta sprieguma. Pie vajadzības baterijas elementu var nomainīt nenoņemot rūpnīcas plombas.

**Darbības principi.** Analogie signāli no precīzijas strāvas transformatora, kura serdenis nesatur dzelzi, padodas uz mikrokontrolera ieejām. Mikroprocesors no analogiem signāliem veido ciparu, sareizina un katru sekundi izrēķina vidējo jaudu P(t). Enerģijas patēriņš aprēķinās P(t) integrācijas ceļā. Mikrokontrolers vada šķidro kristālu indikatoru, sakaru interfeisus, gaismas diodes indikatoru, fotodevēju, magnētiskā lauka iedarbības fiksācijas iekārtu un impulsu izeju. Mikrokontrolera iekšējais pulkstenis vada daudztarifa elektroenerģijas skaitītāja datu reģistru pārslēgšanos un atļauj fiksēt notikumu laiku un datumu. Elektroenerģijas skaitītāja vadības programma saglabāta mikrokontrolera iekšējā tipa ROM atmiņā. Skaitītāja konstantas: transformācijas koeficienta, jutības slieksnis, impulsu izejas koeficients un citi glabājas atmiņā EEPROM . Šajā atmiņā uzkrājas uzskaites dati, programmējamās konstantas un notikumi, piemēram, tarifu laika zonu darbības robežas.

**Tarifu dala.** Daudztarifu elektroenerģijas skaitītāja programmējamo tarifu moduli vada elektroenerģijas skaitītāja iekšējais pulkstenis, uzskaitāmo enerģiju sadala reģistros W(T1). W(T2). W(T3) un W(T4). GEM tipa skaitītāja tarifu modulis nodrošina tarifu reģistru pārslēgšanu atbilstoši ieprogrammētajai tarifu programmai. Tarifu programma ietver dienas profilu, nedēļas profilu un sezonas profilu. Dienas profils nosaka laiku un tarifu pārslēgšanās secību vienai dienai. Var tikt izveidoti līdz 15 dienas tarifa profili. Vienā dienas profilā var definēt līdz pat astoņām tarifu izmaiņām vienas dienas laikā. Dienas profila piemērs sniegts tabulā 7.11.

7.11. tabula

**Dienas profila piemērs**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Numurs** | **Tarifu pārslēgšanas laiks** | **Aktīvais tarifs** | **Numurs** | **Tarifu pārslēgšanas laiks** | **Aktīvais**  **tarifs** |
| 1 | 08:00 | Tl | 5 | 00:00 | TO |
| 2 | 11:00 | T2 | 6 | 00:00 | TO |
| 3 | 18:00 | Tl | 7 | 00:00 | TO |
| 4 | 20:00 | T2 | 8 | 00:00 | TO |

Nedēļas profils nodefinē, kurš no dienas profiliem jāaktivizē katrā no nedēļas dienām. Var būt izveidoti atšķirīgi dienas profili katrai nedēļas dienai vai arī viens un tas pats dienas profils izmantots visām nedēļas dienām. GEM skaitītājā var izveidot līdz pat 10 nedēļas profiliem. Katrs nedēļas profils iekļauj astoņus dienas profilus. Pirmie septiņi dienas profili attiecas uz katru atbilstošo nedēļas dienu, bet astotais piešķirts profilam kurš tiek aktivizēts brīvdienās. Nedēļas profila piemērs sniegts tabulā 7.12.

7.12. tabula

**Nedēļas profila piemērs**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pirmdiena | Otrdiena | Trešdiena | Ceturtdiena | Piektdiena | Sestdiena | Svētdiena | Brīvdiena |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

Dzīvojamas mājas visvairāk izplatīti ir induktīvie skaitītāji. Vienfāžu induktīvais skaitītājs parādīts 7.33. att. Tā pamatā ir alumīnija disks, iestiprināts gultņos, kas atrodas starp divu elektromagnētu poliem, kuri tiek baroti neattiecīgi no tīkla sprieguma un patērējamās strāvas. Summārais magnētiskais lauks rada griezes momentu, kura iespaidā disks sāk griezties ar apgriezieniem, proporcionāliem patērējamai enerģijai. Disku aptver vēl magnets, kas izpilda demfera lomu. Diska ass ar gliemežpārvada starpniecību savienota ar ciparu mehānismu, kas skaita tā apgriezienus, pārvēršot tos kilovatstundās. Ciparu iekārtai ir obligāta prasība saglabāt rādījumu, pazūdot spriegumam.

Trīsfāzigiem skaitītājiem uz kopējās ass ir trīs diski un elektromagnēti tiek baroti no trim fāzēm.

Pielietojot attiecīgās skaitītāju pievienošanas shēmas, tiek uzskaitīta aktīvā vai reaktīvā enerģija

Ir zināms, ka enerģijas izmaksa ir atšķirīga dažādās diennakts stundās atkarībā no tā, kādas elektrostacijas piedalās papildus enerģijas izstrādē. Slodžu galotņu stundās tiek noslogotas visneekonomiskākās gāzturbīnu elektrostacijas (7.34.att.) un enerģijas cena pieaug. KES-I modernās kondensācijas un KES-II vecā tipa elektrostacijas. Tāpēc eksistē stundu tarifu zonas. To realizē, papildinot skaitītājus ar pulksteņa mehānismu, kas pieslēdz diskam attiecīgās ciparu iekārtas. Tad regulējošs maksājums līdzinās atsevišķu tarifu summai:

 (7.37)

kur - *b* un *W* ir atsevišķu stundu zonu tarifi un enerģijas patēriņi.

|  |
| --- |
| 7.33. att. Indukcijas skaitītājs |

Tiek paredzētas iespējas mainīt tarifu zonas no ziemas uz pavasara-rudens un vasaras iestatījumiem. izmantojot šim nolūkam pat centralizētos vadīšanas signālus.

Ja uzskaitē jārealizē jaudas patēriņa kontrole noteiktās diennakts stundās saskaņā ar saskaņotu līgumu kā pamatu pielietot zemāku tarifu *b,* tad uzskaite tiek papildināta ar jaudas patēriņa reģistrāciju, piemēram, saskaņā ar nolīdzinājumu:

T = *a*(*P*<*PM*) + *bW,*  (7.38)

kur *a* un *b* ir tarifi, kas tiek pielietoti enerģijai W pie noteikuma ja netiek pārsniegta maksimāli pieļauta jauda *PM*.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.34. att. Elektrostacijas energosistēmas slodzes grafikā |

Sarežģītākos gadījumos izmanto mikroprocesoru skaitītājus, kuru atmiņā saglabājas ne tikai elektroenerģijas patēriņa dati, bet arī plaša informācija par patēriņa raksturu. Šos datus var nolasīt ar pārnesamu nolasīšanas iekārtu vai arī pārraidīt uz uzskaites centru.

Eksistē noteiktas prasības uzskaites ierīkošanai dzīvojamās telpās, virknē attēlos. Elektriskā pieslēguma shēma parādīta 7.35. att. Atslēdzošais aparāts noblombētā sadales skapī ir nepieciešams ja lieto atklātu drošinātāju.

|  |
| --- |
| 7.35. att. Uzskaites pieslēguma shēma |

Uzskaites uzstādīšana ēku ārpusē, izmantojot piekarkabeli, parādīts 7.36. att.

Uzskaites uzstādīšana ēku ārpusē gadījumos ja ievads izpildīts ar zemē ieliktu kabeli, parādīts 7.37. att.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.36. att. Uzskaites uzstādīšana, izmantojot piekarkabeļi: *SO 80* - enkura spaile; *SOT 29 -* bandāža kāsis; *SOT 28 -* universālais kāsis; *SO 130 -* piekarspaile; *SLIP 22.1 -* izduršanas spaile |

|  |
| --- |
| 7.37. att. Uzskaite ēkas ārpusē ar kabeli |

Vairāku lietotāju gadījuma pieslēguma shēma parādīta 7.38. att.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.38. att. Ievads daudzdzīvokļu namā |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 7.39. att. Uzskaite esošā nama kāpņu telpā. |
|  |  |

Daudzdzīvokļu dzīvojamu māju ievada gadījumā paredz atsevišķu izvadu komunāliem patērētājiem.

Uzskaites pieslēgums esošās daudzstāvu dzīvojamo māju kāpņu telpās parādīts 7.39. att.

Uzskaites uzstādīšana, pielietojot piekarkabeli AMKA uz līnijas balsta un mājas sienas ārpusē parādīti 7.40. att.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |
| ***c*** |
| ***d*** |

7.40. Uzskaite uz līnijas balsta un mājas sienas ārpusē ar AMKA kabeli: *a* – ārējais skats;

*b* - ievad-izvadkarba; c - kronšteini; d – izvadkārba

**7.9.2. Pārējo elektrisko lielumu mērījumi**.

Stacionārajiem mēraparātiem jābūt ar precizitātes klasi, ne zemāku par 2,5, un tie parasti jāuzstāda vie­tās, no kurienes realizē elektroapgādes vadību. Aparātiem jāizvēlas tāds mērapjoms, lai ietvertu iespējamās lielākās mērījamā lieluma novirzes.

Dažādu mēraparātu lietošanas galvenie apsvērumi:

1. *ampērmetrus* slodzes kontrolei uzstāda visās galvenajās (ģe­neratoru, transformatoru, lieljaudas elektrodzinēju, līniju u. tml.) elektroķēdēs. Simetriskās trīsfāžu ķēdēs parasti uzstāda tikai vienu ampērmetru. Trīs ampērmetrus ierīko, ja sagaidāma strāvu nesimetrija fāzēs. Tāpat trīs ampērmetrus paredz kondensatoru bateriju izvados, lai varētu konstatēt drošinātāju pārdegšanu kādā kondensa­toru grupā. Ampērmetru pieslēgšanai jāparedz strāvmaiņi;
2. sprieguma kontrolei lieto rādošos un reģistrējošos *voltmetrus.* Dažādos tīkla punktos ir dažāds spriegums, un tāpēc voltmetrus uz­stāda GPA ievados (ja ir spriegummaiņi); GPA zemākā sprieguma pusē; cehu apakšstacijās; uz katras kopņu sekcijas; izolācijas kon­trolei tīklos ar izolētu neitrāli. Visās trīsfāžu ķēdēs sprieguma mērī­šanai izmanto vienu voltmetru. Trīs voltmetrus dažkārt vēl sastop izolācijas kontroles ietaisēs, ja nav spriegummaiņa ar pārtrauktā trīsstūrī slēgtu papildtinumu;
3. *vatmetrus* uzstāda tranzīta apakšstacijās, ja vajadzīga jaudas plūsmu nepārtraukta kontrole. Saskaņā ar EIN 1.6.13. 110 kV sprie­guma GPA bez jaudas slēdža augstākā sprieguma pusē drīkst ierīkot bez stacionāriem vatmetriem, tikai jāparedz vietas, kur pievienot pārnesamos instrumentus kontrolmērījumiem;
4. *hercmetri* apakšstacijās jāuzstāda tikai tad, ja tajās iespē­jama sistēmas dalīšanās nesinhronās daļās. Elektrostacijās (to skaitā arī dažās mūsu republikas rūpnīcās esošajās blokstacijās) frekven­ces mērīšana jāparedz katrai ģeneratoru sprieguma kopņu sekcijai.

**8. NODAĻA**

**JAUDAS UN ENERĢIJAS ZUDUMI**

**8.1. ELEKTROENERĞIJAS UN JAUDAS ZUDUMU APRĒĶINS**

**ELEKTRISKAJOS TĪKLOS**

Elektriskajai strāvai, plūstot no elektrostacijas līdz elektroenerģijas patērētājam, jāpārvar elektriskā pretestība gaisvadu un kabeļu līnijās, iekšējos elektriskajos tīklos un transformatoros. Elektriskajā tīklā rodas jaudas un enerģijas zudumi. Lai segtu šos zudumus, jāpalielina elektrostacijas ģeneratoru jauda, kam nepieciešams papildu kurināmā vai hidroenerģijas patēriņš.

Elektroenerģijas tehniskie zudumi Latvijas energosistēmas pārvades un sadales tīklos 1995. gadā pārsniedza 11% no kopējā sistēmā nodotā elektroenerģijas daudzuma. Ja aplūkojam šo zudumu struktūru VAS „Latvenergo" gada pārskatā, tad redzams, ka visu spriegumu elektropārvades līnijās pazuda vairāk nekā 25%, bet transformatoros -aptuveni 22% no kopējās nelietderīgi zaudētās elektroenerģijas daudzuma (summārie zudumi). Jāatzīmē, ka laika posmā no 1992. līdz 1995. gadam Latvijas energosistēmā bija ievērojami palielinājušies transformatoru tukšgaitas zudumi, kas sastādīja ap 18% no summārajiem zudumiem. Tas notika sakarā ar transformatoru nepilnīgu noslodzi, ko radīja elektriskās sistēmas kopējās slodzes samazināšanās. Koronas zudumi 330 kV līnijās šai laika posmā bija 0,56% no elektriskajā sistēmā kopā nodotā elektroenerģijas daudzuma.

Elektroenerģijas tehnisko zudumu izmaiņa procentos no kopējā Latvijas elektriskajā sistēmā nodotā elektroenerģijas daudzuma laika posmā no 2001. līdz 2004. gadam un perspektīvā līdz 2012. gadam parādīta 8.1. attēlā. Šajā attēlā parādīta arī elektroenerģijas zudumu procentuālā izmaiņa attiecībā pret summārajiem zudumiem: pārvades tīklā, sadales elektrotīklā un elektrostacijās. Kā redzams no 8.1. attēla, elektroenerģijas zudumiem ir tendence gadu gaitā pakāpeniski samazināties. To sekmē dažādi tehniskie un organizatoriskie pasākumi zudumu samazināšanai.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 8.1. att. Elektroenerģijas zudumi laika posmā no 2001. līdz 2004. gadam un prognoze līdz 2012., % |

Elektroenerģijas zudumu struktūra un sadalījums (%) uz 2002. gadu Latvijas energosistēmā parādīts 8.2. attēlā. Kā redzams no attēla, kopējos elektroenerģijas zudumus (100%) iedala šādi:

1) pārvades zudumi 330kV tīklā, ieskaitot koronas zudumus un tranzīta zudumus, ir 21%;

2) pārvades zudumi 1l0kV tīklā, ieskaitot tranzīta zudumus, ir 14%;

3) elektrostaciju zudumi – 2%;

4) sadales zudumi 6-20 kV elektrotīklā – 4%;

5) sadales zudumi 0,4 kV elektrotīklā –16%;

6) sadales zudumi 6-20/0,4 kV transformatoros (tukšgaitas zudumi) –14%;

7) sadales zudumi 6-20/0,4 kV transformatoros (slodzes zudumi) – 3%;

8) tehnoloģiskais enerģijas patēriņš (pārvades) – 2%;

9) tehnoloģiskais enerģijas patēriņš (sadales): apakšstaciju pašpatēriņš, sekundārās ķēdes un mēraparatūra (spriegummaiņi, strāvmaiņi) – 1%;

10) komerczudumi, t.sk. nenosakāmas struktūras zudumi – 23%.

|  |
| --- |
|  |

8.2. att. Elektroenerģijas zudumu struktūra un 100% sadalījums 2002. gadā

Projektējot elektriskos tīklus, jācenšas atrast tāds variants, lai elektriskajā tīklā elektroenerģijas zudumi būtu minimāli. Tā panākšanai nepieciešama palielināt vadītāja materiāla daudzumu; tas palielina elektriskā tīkla būves izmaksas. Jāatrod tāda šķērsgriezuma vadi, kurus izmantojot elektroenerģijas pārvadīšanas izmaksas būtu minimālas.

Apskatām elektroenerģijas zudumu aprēķinu elektriskajā tīklā. Jaudas zudumus aprēķina pēc formulas

 (8.1)

Ja pieņem, ka strāva un jaudas koeficients cos*φ* tīklā visa gada laikā ir nemainīgi, elektroenerģijas zudumi gada laikā ir

Δ*Wa* = Δ*P*∙24∙365 = *I*2*R*∙8760∙10-3 kWh. (8.2)

Kā zināms, strāva tīklā gada, mēneša un diennakts laikā mainās. Tāpēc aprēķins jāizdara mainīgai slodzei. Pieņemsim, ka zināms strāvas izmaiņas grafiks gada laikā. Grafika laukumu aprēķina, summējot strāvas un laika reizinājumu (8.3. att.):

 (8.3)

Pieņemot, ka spriegums un jaudas koeficients nemainās, aprēķinātais laukums ir proporcionāls elektroenerģijas daudzumam, ko pārvada pa līniju, t.i.,

 (8.4)

|  |  |
| --- | --- |
| 8.3. att. Gaida ilguma slodzes grafiks | 8.4. Strāvas kvadrāta izmaiņas grafiks |

Konstruējam taisnstūri, kura augstums vienāds ar maksimālās strāvas *Imax* vērtību un laukums vienāds ar dotā grafika laukumu. Taisnstūra pamats ir vienāds ar *maksimuma izmantošanas laiku* *tmax*. Tas ir laiks, kurā pārvadītu visu gada laikā patērēto elektroenerģiju, ja strāva būtu nemainīga un vienāda ar maksimālo strāvu *Imax*. Varam rakstīt vienādojumu

 (8.5)

Maksimuma izmantošanas laiks

 (8.6)

Maksimuma izmantošanas laiku *tmax* dažāda rakstura patērētājiem uzrāda tehniskajā literatūrā. Ja zināma maksimālā slodze *Pmax*, elektroenerģijas patēriņu gada laikā var aprēķināt šādi:

*Wa = Pmax ∙tmax*. (8.7)

Jaudas un elektroenerģijas zudumi ir tieši proporcionāli strāvas kvadrātam. Ja dots strāvas izmaiņas grafiks, varam konstruēt strāvas kvadrāta izmaiņas grafiku (8.4. att.). Līnijai, kuras pretestība *R*, elektroenerģijas zudumi gada laikā ir

 (8.8)

Izmērām strāvas kvadrāta izmaiņas grafika laukumu un konstruējam taisnstūri, kura augstums ir vienāds ar , bet laukums - ar dotā grafika laukumu. Taisnstūra pamats ir laiks τ, ko sauc par *maksimālo zudumu laiku*. Laikā *τ*, maksimālajai strāvai plūstot vados, rodas elektroenerģijas zudumi kas vienādi ar faktiskajiem zudumiem:



 (8.9)

Zudumu laiku var atrast, ja zināms slodzes grafiks.

Ja slodzes grafiks nav zināms, uzdevumā jāuzdod maksimuma izmantošanas laiks *tmax* un vidējais cos*φ*. No līknēm (8.5. att.) atrod zudumu laiku *τ*.

Dažreiz lieto lielumu vidējā kvadrātiskā strāva *Iv.kv*, kas plūstot līnijas vados, gada laikā rada elektroenerģijas zudumus, kuri vienādi ar faktiskajiem. Ja zināms strāvas kvadrāta grafiks, konstruējam taisnstūri, kura laukums vienāds ar dotā grafika laukumu, bet pamats vienāds ar 8760 h (8.6. att.). Elektroenerģijas zudumi gada laikā

 (8.10)

|  |  |
| --- | --- |
| 8.5. att. Zudumu laika noteikšanas līknes | 8.6. att. Strāvas kvadrāta izmaiņas grafika izmantošana vidējās kvadrātiskās strāva noteikšanai |

**8.2. ELEKTROENERĢIJAS ZUDUMI TRANSFORMATOROS**

Jaudas zudumus transformatoros iedala šādi:

1. *īsslēguma zudumi* jeb zudumi varā Δ*Pk*, kas atkarīgi no slodzes strāvas;
2. *tukšgaitas zudumi* jeb zudumi tēraudā Δ*P*0, kas atkarīgi tikai no sprieguma.

Transformatora īsslēguma zudumus aprēķina pēc formulas

Δ*Pk* = 3∙*I*2∙*RT*, (8.11)

kur *I* – slodzes strāva;

*RT* – transformatora vienas fāzes aktīvā pretestība.

Ja slodzes strāva vienāda ar nominālo, zudumi arī ir nominālie:

Δ*PkN* = 3*I*2*NRT*. (8.12)

Tātad īsslēguma zudumi ir tieši proporcionāli strāvas kvadrātam:

 (8.13)

No vienādojuma (8.13)

 (8.14)

kur *S* – transformatora faktiskā slodze;

*SN* – transformatora nominālā jauda.

Katram transformatoram Δ*PkN* 750C temperatūrā doti tehniskajos datos. Zinot transformatora faktisko slodzi *S* un transformatora nominālo jaudu *SN*, var aprēķināt īsslēguma zudumus.

Tukšgaitas zudumi Δ*P*0 ir atkarīgi tikai no sprieguma, un tos pieņem konstantus, jo tīklā spriegums mainās nelielās robežās. Tukšgaitas zudumus arī uzrāda transformatora tehniskajos datos. Elektroenerģijas zudumus transformatorā gada laikā aprēķina pēc formulas

 (8.15)

vai arī

 (8.16)

kur  - transformatora maksimālā slodze.

**8.3. SPRIEGUMA NOVIRZE ELEKTRISKAJĀ TĪKLĀ UN TĀS**

**IETEKME UZ PATĒRĒTĀJU DARBU**

**Nominālais spriegums.** Par elektroenerģijas patērētāju, ģeneratoru un transfor­matoru *nominālo spriegumu* sauc spriegumu, kāds tiem paredzēts normālā darbā, strādājot ar vislielāko ekonomisko efektu. Trīsfāzu maiņstrāvas sistēmā nominālo spriegumu mēra starp fāzēm; tas ir līnijas *spriegums.* Elektroenerģijas patērētājiem nominālo spriegumu uzrāda pasē. Elektrisko tīklu nominālo spriegumu pieņem vienādu ar patērētāju nominālo spriegumu, kuri pieslēgti dotajam tīklam.

Elektriskā tīkla spriegums dažādos tīkla punktos ir atšķirīgs. Līnijā plūstot strāvai, rodas sprieguma zudums, tāpēc līnijas beigās spriegums ir mazāks nekā līnijas sākumā. Ja līnija pieslēgta trans­formatora sekundārajam tinumam, spriegums līnijas sākumā ir par 5 % augstāks nekā līnijas nominālais spriegums. Pieņemam, ka sprieguma zudums līnijā ir 10 %, līnijai pievienota tikai viena slodze līnijas beigās. Tādā gadījumā spriegums līnijas beigās ir par 5 % zemāks nekā līnijas nominālais spriegums. Ja vada šķērsgriezums visā līnijas garumā vienāds, spriegums samazināsies tieši propor­cionāli līnijas garumam. Sprieguma izmaiņu var attēlot ar taisnu līniju (8.7. att.). Līnijas faktiskais spriegums ir vienāds ar tās nominālo spriegumu tikai līnijas vidū, bet nav vienāds ar līnijas nominālo spriegumu pārējos līnijas punktos.

Šādas *līnijas nominālais spriegums* ir vidējais aritmētiskais lie­lums starp spriegumiem līnijas sākumā un beigās:



*Ģeneratora nominālais spriegums* ir par 5 % augstāks nekā tīkla nominālais spriegums.

|  |
| --- |
| 8.7. att. Nominālais un faktiskais tīkla spriegums |

Transformatoriem ir divi nominālie spriegumi; *primārā tinuma nominālais spriegums* un *sekundārā tinuma nominālais spriegums.* Primārā tinuma nominālo spriegumu pielīdzina tā tīkla nominālajam spriegumam, kuram pieslēgts transformatora primārais tinums. Se­kundāro tinumu var uzskatīt par enerģijas avotu, tāpēc tā nominā­lais spriegums ir augstāks. Transformatoriem nominālos spriegumus nosaka tukšgaitas režīmā.

Elektrostacijās transformatora primāro tinumu pievieno ģenera­toram, tāpēc transformatora primārā tinuma nominālais spriegums ir vienāds ar ģeneratora nominālo spriegumu.

Transformatoru slogojot, rodas 4...5 % lieli sprieguma zudumi. Lai transformatora sekundārais spriegums, to slogojot, arī būtu par 5 % augstāks nekā tīkla nominālais spriegums, transformatora se­kundāro nominālo spriegumu pieņem par 10 % augstāku nekā tīkla nominālais spriegums.

**Sprieguma novirze**. Elektroenerģijas patērētāju slodze mainās gada, mēneša un diennakts laikā. Izmainoties slodzei, izmainās arī sprieguma zu­dums elektriskajā tīklā. *Sprieguma novirze* ir algebriskā starpība starp faktisko spriegumu dotajā tīkla punktā un nominālo sprie­gumu. Sprieguma novirzi izsaka voltos vai procentos attiecībā pret tīkla nominālo spriegumu. Pieņemsim, ka dota līnija ar slodzi līnijas beigās. Līnija pieslēgta transformatoru apakšstacijai, kurā sprie­gums ir lielāks par nominālo. Līnija visā garumā izbūvētā ar vie­nāda šķērsgriezuma vadu, un spriegums, līniju slogojot, samazinās tieši proporcionāli līnijas garumam (8.8. att.).

Sprieguma novirzi apzīmēsim ar *V.* Sprieguma novirze līnijas sākumā

*Va = Ua -UN,* (8.17)

bet līnijas beigās

*Vb = Ub - UN.*  (8.18)

|  |  |
| --- | --- |
| No sprieguma izmaiņas grafika varam redzēt, ka sprieguma novirze līnijas sākumā ir pozitīva, bet līnijas beigās — negatīva.  *Sprieguma zudums* līnijā ir algeb­riska starpība starp spriegumu līni­jas sākumā un beigās: Δ*U =Ua — Ub*. | 8.8. att. Sprieguma novirze elek­triskajā līnijā. |

8.9. attēlā parādītas divas da­žāda sprieguma līnijas, paaugsti­nošo un pazeminošo transformatoru apakšstacijas, kā arī elektrostacijas ģenerators. Lai uzskatamāk paradītu sprieguma izmaiņas elektris­kajā tīklā, visu tīkla elementu spriegumus diagrammā attēlo rela­tīvās vienībās. Reālo spriegumu pārvērš relatīvā, t. i., reducē uz vienu bāzes spriegumu *Ub*, reizinot spriegumu noteiktā tīkla punktā ar attiecību *Ub*/*UN*. Ģeneratora nominālais spriegums ir 10,5 kV jeb par 5 % lielāks nekā tīkla nominālais spriegums. Transformatora T1 nominālais primārais spriegums ir vienāds ar ģeneratora nomi­nālo spriegumu — 10,5 kV, bet sekundārais nominālais spriegums — 121 kV. Pieņemam, ka slogotu transformatoru T1 un T2 sprieguma zudums ir 5 % jeb 5,5 kV. Transformatora T1 sekundārais spriegums, ir 115,5 kV, t. i., par 5 % augstāks nekā 110 kV līnijas nominālais, spriegums. Ja līnijā dotajā gadījumā sprieguma zudums ir 10 % jeb 11 kV, transformatora T2 primārā tinuma spriegums ir 104,5 kV. Lai spriegumu paaugstinātu par 5%, transformatora augstsprie­guma pusē ir papildu izvadi, kurus, pārslēdzot spriegumu, papildus, var mainīt ±5% robežās. Transformatora T2 sprieguma regulatora rokturis jāiestāda stāvoklī — 5 %. Tādā gadījumā transformatora T2 sekundārā tinuma spriegums tukšgaitā ir par 10 % augstāks, bet, transformatoru slogojot, par 5 % augstāks nekā 20 kV līnijas nomi­nālais spriegums, t. i., 21 kV.

Sprieguma novirze nelabvēlīgi ietekmē patērētāja darbu. Ja kvēl­spuldzes spriegums izmainās par ± 1 %, tās darbmūžs izmainās par ± 13 %; spriegumam pieaugot par +5 %, kvēlspuldzes darbmūžs sa­mazinās aptuveni trīs reizes. Samazinoties spriegumam, spuldzes, darbmūžs palielinās, bet samazinās spuldzes jauda un gaismas, plūsma.

Luminiscences spuldzes mazāk nekā kvēlspuldzes reaģē uz sprie­guma izmaiņām. Ja spriegums ir zemāks par nominālo spriegumu, luminiscences spuldze var neaizdegties, bet augstāka sprieguma gadījumā silst palīgaparatūra. Mājturībā lietotie sildaparāti (elek­triskās plītiņas, gludekļi), spriegumam svārstoties, izmaina savus elektrisko jaudu tieši proporcionāli sprieguma kvadrātam.

|  |
| --- |
| 8.9. att. Sprieguma novirze elektriskajā tīklā. |

Asinhronajiem elektrodzinējiem tieši proporcionāli sprieguma kvadrātam izmainās griezes moments. To ir svarīgi ievērot asin­hrono elektrodzinēju palaišanas brīdī, kad sprieguma novirze var būt tik liela, ka elektrodzinējs neiegriežas.

Pieļaujamās sprieguma novirzes pie dažādiem elektrouzņēmējiem ir atšķirīgas. Tas noteiktas tīkla *normālam* un *pēcavārijas* režīmam.

Normālā režīmā vismazākās sprieguma novirzes noteiktas:

a) ražošanas telpu sabiedrisko ēku un brīvgaisa prožektorgaismas tīklos uz spul­džu spailēm — no –2,5% līdz +5%;

b) uz dzinēju un to palaišanas un vadības aparātu spailēm — no –5% līdz +10%;

c) uz visu pārējo elektrouzņēmēju spailēm ±5%.

Lauku elektriskajos tīklos elektroenerģijas patērētajiem pieļau­jamas šādas sprieguma novirzes:

1. uz elektrodzinēju un to vadības un palaišanas aparatūras spailēm +10... – 7,5 % no nominālā sprieguma;
2. uz pārējo elektroenerģijas patērētāju spailēm +7,5... – 7,5 % no nominālā sprieguma.

Pēcavārijas režīmos un plānoto profilaktisko remontu laikā ne ilgāk kā uz vienu diennakti pieļaujama sprieguma pazemināšanās vēl par 5 %.

Līnijas elektriskā slodze mainās. Līdz ar to izmainās patērētāja sprieguma novirze. Maksimuma izmantošanas laiks lauku elektris­kajos tīklos ir neliels, tātad arī sprieguma novirze visu laiku nav maksimālā.

Praksē minimālo slodzi pieņem 25 % no maksimālās slo­dzes. Maksimālo slodzi pieņem 100% (Smax = 100%), bet minimālā slodze

*Smin* = 0,25∙*Smax*; *Smin* = 25 %.

Maksimālās slodzes laikā patērētāja spriegums būs minimālais, bet minimālās slodzes laikā — maksimālais.

Tātad jāizvēlas tāds elektriskā tīkla vadu šķērsgriezums, lai maksimālās slodzes laikā patērētāju sprieguma novirze būtu lielāka par -5%, bet mini­mālās slodzes laikā sprieguma novirze būtu mazāka par +5%. Lauku elektriskajos tīklos elektroenerģijas patērētajiem jāizvēlas tāds elektriskā tīkla vadu šķērsgriezums, lai maksimālās slodzes laikā patērētāju sprieguma novirze būtu lielāka par -7,5%, bet mini­mālās slodzes laikā sprieguma novirze būtu mazāka par +7,5%.

Apzīmējam sprieguma novirzi minimālās slodzes laikā ar *V*25(%), bet maksimālās slodzes laikā — ar *V*100(%). Iepriekš teikto varam uzrakstīt šādi:

*V*100(%) ≥– 5%,  *V*25(%) ≤ + 5% un

*V*100(%) ≥–7,5%, *V*25(%) ≤ + 7,5%.

**8.4. ELEKTRISKAS SISTĒMAS ELEMENTU IETEKME UZ**

**SPRIEGUMA NOVIRZI**

Elektriskajā sistēmā ietilpst ģeneratori, transformatori, dažāda sprieguma elektriskās līnijas, kas dažādi ietekmē sprieguma novirzi. Apskatām katru elektriskās sistēmas elementu atsevišķi.

**Elektrostacijas ģeneratori.** Elektrostacijas ģeneratori var strādāt nemainīgā vai mainīgā sprieguma režīmā. Ja ģeneratori strādā ne­mainīgā sprieguma režīmā, minimālās un maksimālās slodzes laikā ģeneratoru spriegums ir par 5 % augstāks nekā patērētāju nominā­lais spriegums:

*VG*25(%) = *VG*100(%) = + 5 %.

Mainīgā režīmā strādājošiem ģeneratoriem maksimālās slodzes laikā spriegumu paaugstina par +10 %, bet minimālās slodzes laikā spriegumu ieregulē vienādu ar tīkla nominālo spriegumu:

*VG*100 (%) = + 10%, *VG*25 (%) = 0 %.

**Barojošo apakšstaciju kopnes.** Patērētāju transformatoru apakš­stacijas pievienotas 20 kV līnijām, kuras atzarojas no 110/20 kV transformatoru apakšstacijām. 110 kV tīklos un 110/20 kV transformatori apakšstacijas spriegumu var izmainīt no 0% līdz + 10 %.

|  |  |
| --- | --- |
| 8.10. att. Transformatora vien­kāršota aizvietošanas shēma. | Tātad sprieguma novirze 110/20 kV barojošās apakšstacijas kopnēs *Vk*100 (%) = +10 %, *Vk*25 (%) = ± 0 %. |

**Gaisvadu un kabeļu līnijas**. Sprieguma zudums gaisvadu vai ka­beļu līnijās ir tieši proporcionāls slodzei, sprieguma novirze maksi­mālas slodzes laikā līnijā ir maksimāla, bet minimālās slodzes laika ir minimāla:

*Vl*25 (%) = 0,25∙*Vl*100 (%).

Transformatori. Transformatoru vienkāršotā aizvietošanas shēmā var attēlot kā virknē slēgtu aktīvu un induktīvu pretestību (8.10. att.). Sprieguma zudumu transformatora aprēķina pēc formulas

 (8.19)

kur *I*  — slodzes strāva;

*RT* — transformatora aktīvā pretestība;

*XT —* transformatora induktīvā pretestība;

cos *φ* — jaudas koeficients.

Transformatora tehniskajos datos (sk. P.4.5. pielikumu) uzrāda *Uk* (%) — īsslēguma spriegumu procentos, Δ*Pk* — īsslēguma zudu­mus. Pārveidojam formulu (8.19), kurā ietverti šie lielumi.

Ievietojot vienādojumā (8.19)

 un  (8.20)

varam rakstīt, ka

 (8.21)

 (8.22)

 (8.23)

kur *Ukr* (%) - transformatora īsslēguma sprieguma reaktīvā kom­ponente;

*Uka* (%) - īsslēguma sprieguma aktīvā komponente.

Parasti transformatora sprieguma zudumu izsaka procentos at­tiecībā pret nominālo spriegumu, un formulu (8.21) var uzrakstīt šādi;

 (8.24)

kur *S = ∙UN ∙I* — transformatora maksimālā slodze. Sprieguma zu­dums transformatoros vidēji ir 4...5%. To var izmantot aptuvenos aprēķinos, bet precīzāku rezultātu iegūst, aprēķinos lietojot for­mulu (8.24).

Par *transformatora sekundārā tinuma nominālo spriegumu* sauc spriegumu tukšgaitā, ja transformatora primārajam tinumam pie­slēdz nominālo spriegumu. Transformatora sekundārā tinuma no­minālais spriegums ir par 5 % augstāks nekā patērētāju nominālais, spriegums. Tātad transformatoram bez sprieguma zuduma ir arī sprieguma paaugstinājums. Transformatoram augstsprieguma pusē ir izvadīti izvadi, kurus pārslēdzot var regulēt spriegumu.

Pazeminošo transformatoru transformācijas koeficientus var izmainīt, mainot vijumu skaitu transformatora primārajā tinumā, kur ir izveidoti regulēšanas nozarojumi.

Ja transformatora tinumi slēgti Υ/Y slēgumā, tad var uzrakstīt šādu attiecību:



kur *KT* - transformācijas koeficients; *UA*, *UZ* - atbilstoši transformatora augstākais un zemākais spriegums; *ωA*, *ωZ* - vijumu skaits atbilstoši augstākā un zemākā sprieguma tinumos.

Izmainot vijumu skaitu augstākā sprieguma pusē (*ωA* = var), var panākt vajadzīgo spriegumu transformatora zemākā sprieguma pusē:

 (8.25)

Ja spriegums ir jāpaaugstina transformatora ZS pusē, tad saskaņā ar (8.25) ir jāsamazina vijumu skaits AS tinumā ωA, t.i., jāpieslēdzas 4. vai 5. nozarojumam (8.11. att. a). Ja spriegums ir jāpazemina, tad ir jāpalielina vijumu skaits *ωA*, t.i., jāpieslēdzas 1. vai 2. nozarojumam.

Sadales tīklā izmanto transformatorus ar nozarojumu pakāpju pārslēgšanu neierosinātā stāvoklī (PBI). Šos transformatorus pašreiz izgatavo ar vienu galveno un četrām papildu nozarojumu pakāpēm (± 2 x 2,5%). Transformatoru tinumu shēma ar 5 regulēšanas pakāpēm vienfāzes izpildījumā parādīta 8.11. attēlā *a*. Agrāk šāda tipa transformatorus izgatavoja ar vienu galveno un 2 papildu nozarojumu pakāpēm (± 1 x 5%) (8.11. att. *b, c*).

Lai pārslēgtu transformatoru nozarojumu pakāpes, tos atslēdz no tīkla. Šādus transformatoru atslēgumus izdara reti, tikai gada sezonu slodžu izmaiņas gadījumā, t.i., vienu reizi sezonā. Tādēļ sezonas diennakts maksimālo un minimālo slodžu režīmos šie transformatori strādā ar vienu nozarojumu pakāpi, tātad ar nemainīgu transformācijas koeficientu. No šejienes cēlies nosaukums neregulējamie transfor­matori.

Pazeminošajiem transformatoriem augstākā sprieguma puses nominālais spriegums (UAnom) ir atbilstošā tīkla nominālais spriegums (6, 10, 20 kV). Ja transformators pieslēgts galvenajam izvadam, tad transformatoram ir nominālais transformācijas koeficients (3. poz. pak.). Ja izmanto 4 papildu transformatora nozarojumus, tad transformācijas koeficients izmainās par +5%; +2,5%; –2,5%; –5% no nominālā.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b c*** |

8.11. att. Sprieguma regulēšana: a - transformatora ar PBI shēma; *b, c* - transformatora ar vienu galveno un 2 papildu nozarojumu pakāpēm shēma (*b* - sprieguma regulēšana izmainot sekundārā tinuma vijumu skaitu; *c* — izmainot magnētisko plūsmu.)

Sprieguma regulēšanu, mainot primārā tinuma vijumu skaitu (8.11. att. *a),* — sauc par sprieguma regulēšanu ar magnētiskās plūsmas izmaiņu. Ja neņem vērā sprieguma kritumu transformatora tinumos (*U*1*~E*1) un pieņem, ka tīkla spriegums un frekvence ir nemainīgi, tad saskaņā ar formulu *E*1 = 4,44*fw*1Ф*max* = const. Tādā gadījumā reizinājums Фmaxw1 = const, t. i., ja samazina primārā tinuma vijumu skaitu, magnētiskā plūsma pieaug, — un otrādi. Lai palielinātu sekundārā tinuma spaiļu sprie­gumu par 5%, par 5% jāsamazina primārā tinuma vijumu skaits, t. i., pārslēga rokturis jāpārvieto uz leju no stāvokļa «0» (8.11 att. *b*) vai «Nom.» (8.11 att. *c*) līdz atzīmei « — 5%».

Transformatora sekundārā tinuma nominālais spriegums ir par +5% augstāks nekā tīkla nominālais spriegums transformatoriem ar salīdzinoši nelielu jaudu un +10% - pārējiem transformatoriem.

Pieņemsim, ka transformatora primārajam tinumam, izmantojot galveno nozarojuma pakāpi, ir pievadīts spriegums, kurš vienāds ar tīkla nominālo spriegumu *Unom*, bet transformatora ZS pusē tukšgaitā ir spriegums l,05·*Uznom*. Šajā gadījumā sprieguma pieaugums ir 5% (sprieguma papildinājums ΔEP).

Ja transformatora nozarojuma pakāpi izmainām (PBI), tad var iegūt sprieguma papildinājumus ΔEP (8.1. tab.).

8.1. tabula

**Sadales transformatoru ar PBI sprieguma papildinājums, ΔEP**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nozarojumu pakāpes Nr. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Primārā tinuma sprieguma novirze δV1, % | +5 | +2,5 | 0 | -2,5 | -5 |
| Sekundārā tinuma sprieguma novirze δV2, % | +5 | +5 | +5 | +5 | +5 |
| Sprieguma papildinājums ΔEP, % | 0 | +2,5 | +5 | +7,5 | +10 |

Transformatoru sprieguma papildinājumu nosaka pēc šādas izteiksmes:

 (8.26)

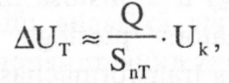
Saskaņā ar EIN sprieguma novirze visattālākajiem patērētājiem nedrīkst būt zemāka par (–5%).

Sprieguma novirzi uz sadales transformatora zemsprieguma izvadiem nosaka pēc šādas formulas:

 (8.27)

kur *VBC* – sprieguma novirze uz BC kopnēm; Δ*U*Σ – summārie sprieguma zudumi sadales līnijās un transformatorā; Δ*EP* – sadales transformatora sprieguma papildinājums (8.26) (sk. 8.1. tabulu).

Sprieguma zudumus sadales transformatorā, %, nosaka pēc šādas izteiksmes:

 (8.28)

kur Q - reaktīvās jaudas plūsma caur sadales transformatoru;

SnT -transformatora nominālā jauda;

Uk- transformatora īsslēguma spriegums, %.

Sadales transformatoriem *Uk* = 5% un maksimālo slodžu režīma attiecība Q/SnT = 0,3-0,5, saskaņā ar (8.28) sprieguma zudums transformatorā ir ΔUTmaks = (0,3...0,5)·5,0% = 1,5%...2,5%.

Maksimālās slodzes režīmā sprieguma zudumi sadales transformatorā ir aptuveni ΔUTmaks ~ 2,5%, bet minimālās slodzes režīmā ar vāju transformatoru noslodzi – ΔUTmin ~ 0%

Lai varētu regulēt spriegumu, neatslēdzot slodzi, elektrorūpniecība ražo transformatorus ar vijumu skaita pārslēgšanu slo­dzes režīmā. Pār­slēdzošā ierīce ieslēgta starp atzarojumiem «Nom.» un « + 5%» (8.12. att. *a*). Tā sastāv no pārslēga ar kustīgu kontaktu 4 un elek­tromagnēta 3,kas pārslēdz šo kontaktu.

|  |
| --- |
| 8.12. att. Sprieguma regulēšana slodzes režīma: *a* — pārslēdzošās ierīces shēma transformatora TCMH sprieguma regulēšanai slodzes režīmā: 1 — strāvu ierobežojošais rezistors; 2— pārslēga nekustīgie kontakti; 3 — pārslēga elektro­magnēts; 4 — pārslēga kustīgais kontakts; , *b* — transformatora TMH sprieguma pakāpjveida regulēšanas shēma: 1 —galvenais tinums; 2 — regulēšanas tinums; 3 — strāvu ierobežojošais reaktors; 4 un 5— kustīgie kontakti; 6—I, 6—II, 6—III— nekustīgie kontakti. |

Ja transformators strādā kā pazeminošais un kustīgais kontakts *4* saslēgts ar kontaktu, kurš savienots ar atzarojumu «+5%», tad, lai spriegumu palielinātu par 5%, kustīgais kontakts 4 jāpārslēdz uz kontaktu, kas savienots ar atzarojumu «Nom.». Kustīgais kontakts vispirms pāriet uz vidējo kontaktu, un slodzes strāva plūst uz tinumu caur strāvu ierobežojošo rezistoru 1. Pēc tam kustīgais kontakts 4saslēdz augšējo un vidējo nekustīgo kontaktu, bet, tā kā tinuma daļa starp šiem kontaktiem noslēdzas īsi caur rezistoru 1, tad īsslēguma strāva ir ierobežota. Kad kustīgais kontakts 4 pāriet uz augšējo ne­kustīgo kontaktu, pārslēgšanas process beidzas. Ja slodze samazi­nās, ar šo pašu ierīci kontaktu 4 var pārslēgt Uz atzarojumu « + 5%» un pazemināt spriegumu par 5%. Elektromagnēta konstrukcija pa­redz pārslēga iedarbības aizturi līdz 30 s, lai izvairītos no nevajadzī­gas pārslēgšanas īslaicīgu sprieguma svārstību gadījumos, kura saīsina pārslēga darbmūžu.

Pārslēgšana no viena atzarojuma uz otru notiek automātiski. Pārslēdzošā ierīce novietota tvertnes iekšpusē virs transformatora magnētvada.

Transformatoriem ar spriegumu 20 un 35 kV spriegumu var regulēt ± 6 x 1,5% robežās, transformatoriem ar spriegumu 6 un 10 kV — ± 8 x 1,25% robežās. Slogota jaudas transformatora TMH pakāpj­veida regulēšanas principiālā shēma parādīta 8.12. attēlā *b.* Pie­mēram, ja pārslēgs jāpārslēdz no nekustīgā kontakta *6*— II uz *6*—I, vispirms no kontakta *6*— II uz *6*— I pārslēdzas kustīgais kontakts *5.* Tinuma daļa starp kontaktiem *6*—II un *6*—I noslēdzas caur reak­toru *3,* kurš ierobežo strāvu šajā tinuma daļā. Pēc tam no kontakta *6*— II uz kontaktu *6*—I pārslēdzas kustīgais kontakts *4,* un pārslēg­šanas process beidzas. Kustīgie kontakti *4* un 5 ir savstarpēji izo­lēti.

Pārslēgs ievietots atsevišķā ar eļļu pildītā tvertne. To darbina elektriski. Pārslēgšana notiek automātiski atkarībā no tīkla sprie­guma izmaiņas.

Tā, piemē­ram, 63 kVA jaudas transformatoriem spriegumu regulē ± 2∙2,5 % robežās (pieci izvadi). Ja sprieguma regulators atrodas vidējā stā­voklī, sprieguma paaugstinājums ir ±0%, bet malējos stāvokļos, attiecīgi sprieguma paaugstinājums ir —5% un +5%. Attiecībā pret tīkla nominālo spriegumu transformatora nominālais spriegums, var būt par 0%, +5%, +10% augstāks.

Transformatora sprieguma regulatoru var ieslēgt jebkura stā­voklī, bet, projektējot tīklu, jānosaka, kurā stāvoklī to ir izdevīgāk ieslēgt.

Elektrisko sadales tīklu barošanas centros ir jāuzstāda transformatori, kuri ir nodrošināti ar nozarojumu pakāpju automātisku pārslēgšanu zem slodzes (RZS). Šī tipa transformatoros ir iebūvētas speciālas automātiskās nozarojumu pārslēgšanas iekārtas (8.13. att.), kā arī tie ir nodrošināti ar lielāku skaitu regulēšanas pakāpju - tātad ar plašāku regulēšanas diapazonu nekā transformatori ar PBI. Automātiskās RZS iekārtas lieto 110kV un augstāka nominālā sprieguma transformatoros.

Augstākā sprieguma tinums transformatoriem ar RZS sastāv no divām daļām: neregulējamās un regulējamās daļas. Tinuma regulējamā daļa var sastāvēt no vairākām nozarojumu regulēšanas pakāpēm. Atkarībā no transformatoru tipa regulēšanas tinumu izveido ar šādām regulēšanas pakāpēm: ±12x1%; ±10x1,5%; ±8x1,78%; ±8x1,25%; ±8x1,5%; ±8 x 2%; ±6 x 2%.

Pieņemsim, ka tinuma regulējošajā daļā ir 12 nozarojumu pakāpes, kuru vijumi pievienoti galvenajam tinumam saskaņotā slēgumā (sk. strāvu virzienus tinumos 8.13. att.). Ja pieslēdzam nozarojumu pakāpes (1...6), tad kopējais vijumu skaits pieaug un transformācijas koeficients palielinās. Pārējās sešas nozarojumu pakāpes (7... 12) pievienotas galvenajam tinumam *pretslēgumā*, un tie kompensē daļu AS tinuma. Šai gadījumā kopējais vijumu skaits samazinās un samazinās arī transformācijas koeficients.

Automātiskā pārslēgšanas iekārta 8.13. att. sastāv no diviem kustīgajiem kontaktiem M un N, no kontaktoriem K1 un K2, un no reaktora R. Reaktora tinuma viduspunkts savienots ar transformatora tinuma neregulējamo daļu. Normāli strādājot, slodzes strāva sadalās vienmērīgi starp reaktora abām daļām (pusēm), tādēļ magnētiskā plūsma reaktorā ir maza un reaktora pretestība niecīga, rezultātā arī sprieguma zudumi reaktorā ir nelieli.

Pārslēdzot transformatora pakāpes, piem., no 2 uz 1, atslēdz kontaktoru K1 un kustīgo kontaktu M pārvieto uz nozarojuma izvadu 1. Pēc tam ieslēdz kontaktam K1 darbā. Šajā momentā tinuma sekcija 1-2 ir noslogota caur reaktora R pretestību un tajā plūst izlīdzinošā strāva 

Ievērojama reaktora induktīvā pretestība XR ierobežo izlīdzinošo strāvu , kura rodas tinuma sekcijas 1-2 sprieguma klātbūtnē. Reaktora pretestība šai gadījumā ir liela tādēļ, ka strāvas virziens abās reaktora dalās ir vienāds. Rezultātā kopējā magnētiskā plūsma reaktorā ir liela un reaktora pretestību palielina. Šādi tiek ierobežota izlīdzinošā strāva *Iizl* un netiek pārslogoti nozarojuma pakāpes tinumi. Pēc tam atslēdz kontaktora K2, pārvieto kustīgo kontaktu N uz nozarojuma izvadu 1 un ieslēdz atpakaļ kontaktoru K2.

RZS izmantošana dod iespēju pārslēgt automātiski nozarojumu pakāpes, izmainīt transformācijas koeficientu zem slodzes diennakts laikā un rezultātā nodrošināt saskaņoto sprieguma regulēšanu elektriskā sadales tīkla barošanas centrā.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 8.13. att. Transformatora ar RZS shēma |

**8.5. SPRIEGUMA NOVIRŽU TABULAS SASTĀDĪŠANA.**

Lai noteiktu sprieguma zuduma pieļaujamo lielumu un pa­reizi izvēlētos transformatora sprieguma regulatora stāvokli patērē­tāju apakšstacijā, nepieciešams sastādīt sprieguma noviržu tabulu.

Apskatām konkrētu gadījumu. 110/20 kV transformatoru apakš­stacijas 20 kV līnija baro 20/0,4 kV apakšstaciju. 110/20 kV apakš­stacijā 20 kV kopnēs spriegums maksimālās slodzes laikā ir 21,6 kV, bet minimālās slodzes laikā — 20,8 kV. 20 kV līnijā sprieguma zu­dums maksimālās slodzes laikā ir 2 %. Sprieguma zudums 20/0,4 kV transformatorā maksimālās slodzes režīmā ir 4,8 % (8.14. att.).

Aprēķinām sprieguma novirzi 110/20 kV apakšstacijas kopnēm, un izsakām to procentos attiecībā pret 20 kV spriegumu:





Pieņemam, ka sprieguma regulatoru 20/0,4 kV transformatoram iestādām vidējā stāvoklī. Sastādām sprieguma noviržu tabulu, lai noteiktu pieļaujamo sprieguma zudumu zemsprieguma tīklā (8.2. tab.).

Minimālās slodzes gadījumā visaugstākais spriegums ir patērētājam, kurš atrodas vistuvāk transformatoru apakšstacijai, tāpēc jāpārbauda, vai sprieguma novirze pie patērētāja, kurš atrodas vis­tuvāk transformatoram, nepārsniedz pieļaujamo lielumu. Kā re­dzams no 8.2. tabulas, sprieguma novirze ir mazāka par pieļaujamo lielumu — +7,3% < +7,5 %. Transformatora sprieguma regulatora stāvoklis izraudzīts pareizi. Ja sprieguma regulatora stāvokli izvē­lētos tādu, lai sprieguma paaugstinājums ir +10%, sprieguma novirze minimālās slodzes laikā būtu +12,3%, kādu nedrīkst pieļaut.

Ja 110/20 kV apakšstacijā minimālās slodzes laikā 20 kV kopnēs spriegumu nesamazinātu, spriegums pie patērētājiem pārsniegtu pieļaujamo lielumu.

Spriegumu noviržu tabulā minimālās slodzes ailē iekšējām insta­lācijām un zemsprieguma līnijai sprieguma zudumus pielīdzina nullei, pieņemot, ka zemsprieguma līnija ir tik īsa, ka tās pretestību var neņemt vērā.

|  |
| --- |
| 8.14. att. 20 kV sprieguma līnija ar 20/0,4kV apakš­staciju:  *a —* tuvākais patērētājs. *b* — tālākais patērētājs. |

Sprieguma novirze apakšstacijā, kas atrodas tuvāk 110/20 kV apakšstacijai, ir mazāka, jo sprieguma zudums 20 kV līnijā arī ir mazāks. Tā, piemēram, ja patērētāju apakšstacija pieslēgta 20 kV līnijas vidū, sprieguma zudums Δ*U =* 1 %, transformatora sprieguma regulators jāiestāda par vienu pakāpi zemāk, jo pretējā gadījumā minimālās slodzes laikā sprieguma novirze pie tuvākajiem patērē­tājiem būs +7,55 % > +7,5 %.

8.2. tabula

**Sprieguma noviržu tabula**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tīkla elements** | **Sprieguma novirze (%)** | |
| ***Smax* = 100 %** | ***Smin* = 25 %** |
| 110/20 kV apakšstacijas 20 kV kopnes | + 8 | + 4 |
| 20 kV līnija | 2 | -0,5 |
| 20/0,4 kV transformators: |  |  |
| sprieguma paaugstinājums | +5 | + 5 |
| sprieguma zudums | – 4,8 | –1,2 |
| Iekšējās instalācijas | – 2,5 | 0 |
| Zemsprieguma līnija | – 11,2 | 0 |
| Patērētāja sprieguma novirze | – 7,5 | +7,3 < +7,5 |

Ja sastādām sprieguma noviržu tabulu tīkla daļai ar vairākām sprieguma transformācijas pakāpēm, sprieguma noviržu tabulā jā­ietver visi tīkla elementi.

**8.6. ZEMSPRIEGUMA TĪKLA PĀRBAUDE ASINHRONĀ**

**ELEKTRODZINĒJA PALAIŠANAS BRĪDĪ.**

Zemsprieguma līnijās vada šķērsgriezumu nosaka pēc pieļaujamā sprieguma zuduma. Ja līnijai pieslēgts elektrodzinējs, jāpārbauda, vai aprēķinātais vada šķērsgriezums ir pietiekams, lai varētu palaist elektrodzinēju. Īsslēgtā asinhronā elektrodzinēja pa­laišanas strāva ir 5...7 reizes lielāka par nominālo strāvu. Parastu palaišanas laiks asinhronajiem elektrodzinējiem nepārsniedz 10 se­kundes, tāpēc palaišanas strāva nepaspēj sakarsēt elektrodzinēju. Palaišanas strāva izraisa nevēlamu parādību — samazina spriegumu uz palaišanas aparatūras un elektrodzinēja spailēm.

Asinhronajiem elektrodzinējiem griezes moments ir tieši propor­cionāls sprieguma kvadrātam. Ja palaišanas brīdī spriegums sama­zinās līdz tādai vērtībai, ka elektrodzinēja palaišanas moments ma­zāks par darbmašīnas vai mehānisma pretestības momentu palaiša­nas brīdī, elektrodzinējs var neiegriezties, tātad to nevar palaist.

Elektrodzinēja palaišanas brīdī pieļaujama sprieguma samazinā­šanās līdz 0,7 no nominālā sprieguma, ja darbmašīnas vai mehā­nisma pretestības moments nepārsniedz 1/3 nominālā pretestības momenta palaišanas brīdī. Šī prasība parasti pastāv visiem siksnas pārvadiem, kā arī centrbēdzes sūkņiem un ventilatoriem tiešā pār­vada gadījumā.

Sprieguma zudumu aptuveni var aprēķināt šādi:

 (8.29)

kur *ZM* — asinhrona elektrodzinēja pilna pretestība, ko aprēķina šādi:

 (8.30)

kur *UN* — elektrodzinēja nominālais spriegums (V);

*IN* — elektrodzinēja nominālā strāva (A);

*Kpal* — elektrodzinēja palaišanas strāvas attiecība pret nomi­nālo strāvu;

*Zt* — tīkla pilnā pretestība, ja elektrodzinēju ar transforma­toru savieno zemsprieguma līnija (Ω).

Tīkla pretestība *Zt* ir vienāda ar transformatora (*ZT*) un zem­sprieguma līnijas (*Zl*) pilno pretestību summu:

*Zt = ZT+ Zl*. (8.31)

Zemsprieguma līnijas pilnā pretestība ir vienāda ar aktīvās un. reaktīvās pretestības summu:

 (8.32)

kur *l* — līnijas garums no elektrodzinēja līdz transformatoram (km);

*x0* — 1 km garas līnijas vada induktīva pretestība (Ω/km);

*r0* — 1 km garas līnijas vada aktīvā pretestība (Ω/km).

Transformatora pilno pretestību aprēķina šādi:

 (8.33)

Transformatora pretestība jāattiecina pret 380 V spriegumu:

 (8.34)

kur *Uk* (%) — transformatora īsslēguma spriegums;

*UN* = 400 V — transformatora nominālais sekundārā tinuma spriegums;  
 *IN* — transformatora sekundārā tinuma nominālā strāva (A).

Ja darbmašīnas vai mehānisma pretestības moments palaišanas brīdī pārsniedz 1/3 nominālā pretestības momenta, elektrodzinēja palaišanas spēju pārbauda šādi:

*Mpal* ≥ *KrezMpret*.*pal* vai arī  (8.35)

kur *Mpal* — elektrodzinēja griezes moments palaišanas brīdī;

*Krez* — 1,2…1,3 — rezerves koeficients, kas raksturo elektro­dzinēja raksturlielumu neatbilstību kataloga rakstur­lielumiem;

*Mpret.pal* — darbmašīnas vai mehānisma pretestības moments elektrodzinēja palaišanas brīdī;

*MN* — elektrodzinēja nominālais griezes moments;

*m\*pal* — palaišanas momenta vairākkārtīgums, ievērojot sprie­guma samazināšanos elektrodzinēja palaišanas brīdī, un to aprēķina šādi:

 (8.36)

kur *Upal* - faktiskais spriegums uz elektrodzinēja spailēm palaiša­nas brīdī;

*UN* — nominālais spriegums;

*mpal = Mpal  /MN* — palaišanas momenta vairākkārtīgums, ja spriegums palaišanas brīdī ir vienāds ar no­minālo spriegumu;

*U\*pal* — elektrodzinēja faktiskā un nominālā sprieguma attie­cība elektrodzinēja palaišanas brīdī.

Elektrodzinēja faktiskā un nominālā spriegumu attiecību elektro­dzinēja palaišanas brīdī aprēķina šādi:

 (8.37)

kur *U\*p* — spriegums elektrodzinēja pieslēgšanas vietā pirms elektrodzinēja palaišanas attiecināts pret nominālo spriegumu;

Δ*U*\**pal* — sprieguma zudums transformatorā un 380 V tīklā at­tiecināts pret nominālo spriegumu.

Sprieguma zudums

 (8.38)

kur *Xl = x0∙l* — līnijas induktīvā pretestība;

*Rl =r0∙l* — līnijas aktīvā pretestība;

*XT* — transformatora induktīvā pretestība;

*RT* — transformatora aktīvā pretestība;

*Ipal* — elektrodzinēja palaišanas strāva.

Jaudas koeficientu elektrodzinēja palaišanas brīdī aprēķina šādi:  
  (8.39)

kur cos*φN* — elektrodzinēja nominālais jaudas koeficients (pēc ka­taloga datiem);

*Kpal = Ipal / IN* — elektrodzinēja palaišanas strāvas un nominālās strāvas attiecība (pēc kataloga datiem).

Ja palaiž asinhrono dzinēju, spriegums samazinās arī uz pārējo elektrodzinēju spailēm. Spriegumam samazinoties līdz tādai vērtī­bai, ka elektrodzinēja griezes moments kļūst mazāks par darbmašī­nas vai mehānisma pretestības momentu, elektrodzinējs apstājas. Lai elektrodzinējs neapstātos, jābūt ievērotai šādai sakarībai:

, (8.40)

kur *Mpret.max* — darbmašīnas vai mehānisma maksimālās pretestī­bas moments;

 - (8.41)

- elektrodzinēja pārslodzes spēja, ievērojot sprieguma pa­zemināšanos tam pašam barošanas avotam pieslēgta elektrodzinēja palaišanas brīdī;

*mm* — elektrodzinēja pārslodzes spēja (pēc kataloga datiem).

Ja zināms darbmašīnas un mehānisma pretestības moments pa­laišanas brīdī *Mpret*.*pal* un pretestības momenta maksimālās vērtības *Mpret*.*max* attiecība pret elektrodzinēja nominālo griezes momentu, formulas (8.35) un (8.40) var pārveidot šādi:

 (8.42)

 (8.43)

kur  — darbmašīnas vai mehānisma pretestī­bas momenta palaišanas brīdī attiecība pret elektrodzinēja nominālo griezes momentu;

 — darbmašīnas vai mehānisma maksimālā pretestības momenta attiecība pret elek­trodzinēja nominālo griezes momentu (sk. 8.3. tab.).

8.3. tabula

**Pretestību momentu un elektrodzinēja nominālo griezes momentu attiecības**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Darbmašīnas vai mehānisma  nosaukums | Pretestības momenta un elektrodzinēja nominālā momenta *MN* attiecība palaišanas brīdī | | Maksimālā pretestības momenta un elektrodzinēja nominālā mo­menta *MN* attiecība *M\*pret max* |
| palaižot dzinēju tukšgaitā, *M\*pret pal* | palaižot slogotu  dzinēju, *M\*pret pal* |
| Aksiālie propelleru ventilatori | - | 0,3 | 1,5 |
| Centrbēdzes ventilatori | 0,3 | 0,3 | 1,5 |
| Līdzstrāvas ģeneratori | 0,12 |  | 0,5 |
| Turbokompresori | 0,3 | 0,3 | 1,5 |
| Virzuļkompresori | 0,4 |  | 1,4 |
| Virzuļsūkņi | 0,4 | 1,5 | 1,5 |
| Virzuļu vakuumsūkņi | 0,4 |  | 1,4 |
| Virpuļsūkņi | 0,3 | 0,3 | 1,4 |
| Centrbēdzes sūkņi | 0,3 | 0,3 | 1,5 |
| Gateri | 1,0 |  | 1,5 |

**8.7. VADA AKTĪVĀ PRETESTĪBA.**

Spriegums līnijas beigās atšķiras no sprieguma līnijas sākumā, jo strāva, plūstot vadā, rada sprieguma zudumu. Gaisvadu līniju vadu šķērsgriezums jāizvēlas tāds, lai sprieguma novirze pie patērētāja nepārsniegtu pieļaujamo lielumu.

Lai aprēķinātu sprieguma zudumu līnijā, jāzina līnijas vadu elektriskā pretestība. Elektriskās līnijas vadiem ir aktīvā pretestība. Līdzstrāvas un maiņstrāvas gadījumā vadu pretestības nav vienādas.

Ja pa vadu plūst maiņstrāva, novērojam virsmas efekta parādību (skinefektu) — strāvas blīvums vada šķērsgriezumā sadalās nevien­mērīgi, vada virspusē tas ir lielāks. Strāvas blīvuma nevienmērīgu sadalījumu rada arī tuvuma efekta parādība — vadā un ap vadu radies magnētiskais lauks «izspiež» strāvu otra vada ārējā daļā. Tāpēc vada aktīvā pretestība maiņstrāvai vienmēr ir lielāka nekā līdzstrāvai. Aktīvo pretestību līdzstrāvai sauc par omisko pretestību. 50 Hz maiņstrāvai aktīvās pretestības attiecība pret omisko pretes­tību ir apmēram vienāda ar vienu, tāpēc praktiskos aprēķinos var pieņemt, ka tās ir vienādas. Alumīnija vadu aktīvā pretestība mainās arī atkarībā no apkārtējās vides temperatūras un strāvas blīvuma. Praktiskos aprēķinos šīs izmaiņas neievēro.

Tehniskajā literatūrā uzrāda 1 km gara vada aktīvo pretestību omos — *R*0 (Ω/km). Ja zināms līnijas garums, vada marka un šķērsgriezums, *R*0 varam atrast tabulā (P.1.6. tabula) un aprēķināt līnijas aktīvo pretestību

*R = R*0*∙l*, (8.44)

kur *l* — līnijas garums (km).

Aprēķinos bieži jālieto lielumi *ρ*(μΩ∙m) —vada aprēķina īpat­nējā pretestība un *γ* (MS/m) — aprēķina īpatnējā vadītspēja.

Apzīmējot vada šķērsgriezumu ar *F* (mm2), varam uzrakstīt sa­karības starp minētajiem lielumiem:

 (8.45)

kur *l* — vada garums (km).

Tērauda vadiem aktīvā pretestība maiņstrāvai ievērojami atšķi­ras no pretestības līdzstrāvai, jo tērauda vadiem ir krasi izteikts virsmas efekts.

Histerēze un virpuļstrāvas tērauda vados rada elektroenerģijas zudumus. Tie ir atkarīgi no strāvas lieluma, tāpēc tērauda vadiem nevar pieņemt, ka *R*0 ir konstants. Tērauda vadiem *R0* vērtības dotas rokasgrāmatu tabulās.

**8.8. VADA INDUKTĪVĀ PRETESTĪBA.**

Ja vadā plūst maiņstrāva, ap vadu un pašā vadā rodas arī mainīgs magnētiskais lauks. Tāpēc vadam ir arī *induktīvā pre­testība.* Tabulās uzrāda īpatnējo induktīvo pretestību *X*0 (Ω/km). To var arī aprēķināt:

 (8.46)

kur *ω* = 2*πf* (*f* = 50 Hz, maiņstrāvas frekvence);

*Dvid* — vidējais ģeometriskais attālums starp vadiem (mm);

*μ* — vada materiāla relatīvā magnētiskā caurlaidība;

*d* — vada diametrs (mm).

Ja tīkla frekvence *f* = 50 Hz, formulu var pārveidot šādi:

 (8.47)

Apzīmējot  un , varam rakstīt, ka *X*0 = *X'*0 +*X’’*0.

Pirmo lielumu X*'0* sauc par *vada ārējo induktīvo pretestību,* jo tā ir atkarīga tikai no vadu vidējā ģeometriskā attāluma *Dvid* un vada diametra *d*,bet nav atkarīga no vada materiāla. Attālums starp vadiem gaisvadu līnijās ir no 400 mm zemsprieguma līnijās līdz 10500 mm 500 kV sprieguma līnijās. Tātad augstsprieguma līnijās induktīva pretestība ir lielāka nekā zemsprieguma līnijās. Kabeļos attālums starp strāvu vadošajām daļām salīdzinājumā ar attālumu starp vadiem gaisvadu līnijās ir mazs, tāpēc kabeļu induktīvā pretestība ir maza.

Vidējo ģeometrisko attālumu starp vadiem aprēķina šādi:

 (8.48)

kur *D*12, *D*23, *D*13— attālumi starp līnijas vadiem (6.10. att.).

Ja vadi balstā novietoti vienādā augstumā, tad *D*13 = 2*D*, *D*12 *= D*23 = *D* un

 (8.49)

Vada diametru nosaka no tabulām (P.1.6. tabula). Alumīnija vadiem atkarībā no vada diametra vai šķērsgriezuma un vidējā ģeo­metriskā attāluma ārējā induktīvā pretestība dota tabulā (P.1.7. tabula) .

Kabeļu ārējā induktīvā pretestība ir 3...4 reizes mazāka nekā gaisvadu līnijas vadiem.

*Vada iekšējā induktīvā pretestība* *X''*0 = 0,0157*μ*, ir atkarīga tikai no vada materiāla magnētiskajām īpašībām. Varam un alumīnijam, kas ir nemagnētisks materiāls (*μ* = l), iekšējo induktīvo pretestību aprēķinos neņem vērā, jo tā salīdzinājumā ar ārējo induktīvo pre­testību ir maza. Tērauda vadiem magnētiskā caurlaidība ir daudz­kārt (100...1000 reižu) lielāka nekā vara un alumīnija vadiem, tāpēc aprēķinos tērauda vadiem tā jāņem vēra.

Izmainoties strāvai vadā, izmainās arī magnētiskā lauka inten­sitāte, kas savukārt izmaina arī magnētisko caurlaidību. Tātad iek­šējā induktīvā pretestība *X”*0 mainās atkarībā no strāvas.

Ja zināms līnijas garums *l*, vada marka, šķērsgriezums un *Dvid*, *X*0 varam atrast tabulā (P.1.7. tabula) un aprēķināt līnijas reaktīvo pretestību

*X = X’*0*l*.

Praktiskiem aprēķiniem trīsfāžu līnijas gadījumā īpatnējo pretestību *X’*0 var noteikt arī no 8.4. tabulas.

|  |  |
| --- | --- |
| 8.15. att. Attālums starp vadiem. | 8.16. att. Gaisvadu līniju kapacitāte:  *C*1*, C*2*, C*3 — kapacitātes starp vadiem un zemi,  *C*12, *C*23, *C*13 *—* vadu savstarpējas kapacitātes |

8.4. tabula

**Trīsfāžu līnijas īpatnēja induktīva pretestība *X*0, Ω/km**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Vada šķērsgriezums, mm2 | Vadi caurulē | Līnijas spriegums, kV | | | | | | |
| Gaisvadu līnijas | | | Kabeļu līnijas | | | |
| līdz 1 kV | 6—10 kV | 35 kV | līdz 1 kV | 6 kV | 10 kV | 35 kV |
| 4-6 | 0,10 | – | – | – | 0,09 | – | – | – |
| 10-25 | 0,09 | 0,36 | 0,41 | – | 0,07 | 0,1 | 0,11 | – |
| 35-70 | 0,08 | 0,33 | 0,38 | 0,42 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | – |
| 95—120 | 0,08 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,12 |
| 150—240 | 0,08 | – | – | – | 0,06 | 0,08 | 0,08 | 0,11 |

**8.9. VADA KAPACITĪVĀ VADĪTSPĒJA.**

Starp gaisvadu līnijas vadiem un katru vadu un zemi ir noteikta lieluma kapacitāte, jo katru vadu un zemi var uzskatīt par kondensatora plati (8.16. att.).

Trīsfāzu līnijas viena vada darba ka­pacitāte *C*0 (F/km), ja tīkla frekvence ir 50 Hz,

 (8.50)

reaktīvā kapacitīvā vadītspēja *B*0 (*S*∙km), ja tīkla frekvence ir 50 Hz

 (8.51)

Aprēķinot gaisvadu līnijas vai kabeļa darba kapacitāti, pieņem, ka strāvu vadošās daļas ir novietotas simetriski. Gaisvadu līnijās fāzu vadus var uzskatīt par simetriskiem, ja pēc noteikta attāluma izmaina vadu savstarpējo novietojumu balstos — lieto vadu transpozīciju.

Līnijas darba kapacitāte ir atkarīga no vadu vidējā ģeometriskā attāluma *Dvid* un vada diametra *d.* Zemsprieguma līnijām kapacitāte ir lielāka nekā augstsprieguma līnijām.

Kabeļu kapacitātes noteikšanai formulu (8.50) izmantot nevar, jo kabeļu izolācijas materiāla dielektriskā caurlaidība ir lielāka nekā gaisam un kabeļiem elektriskā lauka forma ir savādāka nekā gais­vadu līnijas vadiem. Parasti katrai kabeļa markai rūpnīca uzrāda tā kapacitāti tehniskajos datos.

Ja zināma līnijas reaktīvā kapacitīvā vadītspēja, varam aprēķināt līnijas *kapacitīvo* jeb *uzlādēs strāvu IC* (A):

 (8.52)

kur *U* — līnijas spriegums (V);

*l* — līnijas garums (km),

Gaisvadu līnijām ar spriegumu līdz 35 kV (ieskaitot) un kabeļu līnijām ar spriegumu līdz 10 kV (ieskaitot) kapacitīvā strāva ir maza, un aprēķinos kapacitīvo vadītspēju neņem vērā.

**8.10. Līdzstrāvas un maiņstrāvas apgaismošanas divvadu līniju aprēķins**

Pieņemsim, ka dota līnijas shēma un jāaprēķina sprie­guma zudums (8.17. att.).

Patērētāju slodzes strāvas apzīmējam ar *i*1, *i*2, *i*3,…, *in*,strāvas līnijas posmos — *IA*1, *I*12*, I*23,..., *Imn*, posmu garumus — *lA*1, *l*12, *l*23,…, *lmn*. Shēmu vienkāršo un attēlo kā vienlīnijas shēmu, pa­rādot katrā posmā strāvas virzienus no barošanas avota uz patērē­tājiem. Izmantojot Oma likumu, aprēķinām sprieguma zudumu līnijā. Sprieguma zudums Δ*UAn* ir vie­nāds ar līnijas atsevišķo posmu sprieguma zudumu summu tiešajā un atgriezeniskajā vadā (ja visos līnijas posmos ir vienāds vada šķērsgriezums):

 (8.53)

Parasti uzdevumā ir dotas patērētāju strāvas, tāpēc formulu pār­veidojam, izmantojot pirmo Kirhofa likumu:

*I*23 *= i*3 +...+ *in*, *I*12 *= i*2 *+ i*3+... + *in*, *IA*1 *= i*1 *+ i*2*+ i*3*+...+ in*, un, matemātiski pārveidojot, ievietojam formulā (8.53):

 (8.54)

Aizvietojam *RA*1 *=* *rA*1, *RA*2 *= rA*1 *+ r*12, *RA*3 *= rA*1 *+ r*12 *+ r*23; *RA*n *= rA*1 *+ r*12 *+ r*23*+*...+ *rmn* un, ievietojot izteiksmē (8.53), varam rak­stīt, ka

Δ*UAn=*2(*i*1*RA*1 *+ i*2*RA*2*+ i*3*RA*3 *+* ... + *inRAn*)

|  |
| --- |
| 8.17. att. Aizvietošanas shēma līdzstrā­vas līnijai ar vairākiem patērētājiem. |

vai vispārīgā veidā

 (8.55)

Formulās (8.53) un (8.55) ievietojam *rmn* = *lmn* /γF un *RAn = LAn/γF* iegūs­tam tās pašas formulas pārveidotā formā:

 (8.56)

 (8.57)

No formulām (8.56) un (8.57) varam izteikt vada šķērsgriezumu:

 (8.58)  
  (8.59)

Apzīmējam



kur *p*1, *p*2, *p*3, *pn* — patērētāju aktīvās jaudas,

*PA*1, *P*12, *P*23,…, *Pmn* — līnijas posmu aktīvās jaudas

Ievietojam formulas (8.58) un (8.59) strāvu vieta jaudas dalī­jumu ar spriegumu un, iznesot nominālo spriegumu *UN* kā konstantu lielumu pirms summas zīmes, iegūstam, ka

 (8.60)

 (8.61)

Ja sprieguma zudums uzdevumā dots procentos, vienādojumus pārveidojam šādi:



 (8.62)

 (8.63)

Formulas bez pārveidojumiem var izmantot arī vienfāzes maiņ­strāvas tīklos, jā jaudas koeficients cos*φ* = l (piemēram, apgaismo­šanas tīkla aprēķinā, ja par gaismas avotiem izmanto kvēlspuldzes).

Formulās lietotie lielumi jāizsaka šādās vienībās: *i, I* — ampē­ros; Δ*U, UN* — voltos; *p, P —* vatos; *l, L* — metros; Δ*U*(*%*)— procentos. Ja kādu lielumu izsaka citās vienībās, jālieto attiecīgi koeficienti.

**8.11. SPRIEGUMA KRITUMS UN SPRIEGUMA ZUDUMS**

**MAIŅSTRĀVAS LĪNIJĀ.**

Trīsfāzu maiņstrāvas līnijai jāaprēķina sprieguma zu­dums, ja līnijai galā pievienota simetriska slodze un līniju visā garumā paredzēts izbūvēt ar vienāda šķērsgriezuma vadu. Līnijas garums *l*,līnijas aktīvā pretestība *R*, induktīvā pretestība *XL*, slodzes strāva *I*, jaudas koeficients cos*φ*2, fāzes spriegums līnijas beigās pie patērētāja *Uf*2.

Līniju attēlojam vienlīnijas shēmā, ko varam aizvietot ar elek­trisku ķēdi — virknē saslēgtu aktīvo pretestību *R* un induktīvo pre­testību *XL* (8.19. att.).

Konstruējam sprieguma un strāvas vektoru diagrammu vienai fāzei. Ja slodze ir aktīva un induktīva, strāva atpaliek no sprieguma par leņķi *u*2. Vektorus attēlojam koordinātu sistēmā, aktīvās vērtības atliekot uz reālās ass, bet reaktīvās vērtības — uz imaginārās ass (8.20. att.).

|  |  |
| --- | --- |
| 8.19. att. Maiņstrāvas līnijas aizvie­tošanas shēma. | 8.20. att. Līnijas strāvas un sprieguma vektoru diagramma. |

Spriegumu līnijas beigās *Uf2* atliekam uz reālās ass pozitīvā vir­zienā: *Uf*2 = *OA*. Strāvu *I* sadalām aktīvajā komponentē *Ia* = *I*∙cos *φ*2 un reaktīvajā komponentē *Ir* = *I*∙sin *φ*2. Reaktīvo strāvas komponenti atliekam uz imaginārās ass negatīvā virzienā. Strāvu, kas plūst uz patērētāju, kompleksā formā pieņemts rakstīt šādi: *I* = *Ia* - *jIr* (ja strāvai ir induktīvs raksturs, reaktīvā komponente ir ar mīnusa zīmi).

Aktīvā sprieguma krituma vektors Δ*Ůa = İR* pēc virziena sakrīt ar strāvas vektora virzienu, bet reaktīvā sprieguma krituma vektors Δ*Ůr* *= İXL* pēc virziena ir perpendikulārs strāvas vektora *I* virzie­nam. Atliekam *İR = AB* un *İXL = BC.* Kopējais sprieguma kritums

Δ*Ů* = *İZ* = Δ*Ůa*+ Δ*Ůr*;  (8.64)

Δ*Ů* ir pilnais sprieguma kritums, kuru var sadalīt divās kompo­nentēs:

a) sprieguma krituma garenkomponentē Δ*Ůf = AD*, kas sakrīt ar *Ůf2* virzienu;

b) sprieguma krituma šķērskomponentē *δŮf = DC,* kas perpendikulāra *Ůf2* virzienam.

Lai aprēķinātu sprieguma kritumu skaitliskās vērtības, izdarām papildu konstrukciju. Uz reālās ass atliekam Δ*Ůa* projekciju *AB*1un Δ*Ůr* projekciju *B*1*D*. Pamatojoties uz taisnleņķa trīsstūra īpašībām, varam rakstīt šādi: *AB*1*=IR* cos *φ*2, *B*1*D = BE = IXL*sin *φ*2, *CE = IXL* cos *φ*2, *B*1*B = IR* sin *φ*2. Tātad garenkomponente Δ*Uf*  *= AD = AB*1 *+ B*1*D = IR* cos *φ*2*+ IXL* sin *φ*2 = *IaR + IrXL*,šķērskomponente *δUf = CD = CE - DE = IXL* cos *φ*2 - *IR* sin *φ*2 = *IaX* - *IrR*.

Spriegums līnijas sākumā *Ůf*1 *= Ůf2* *+* Δ*Ůf  + jδUf* = *Ůf*2 *+ İaR +* *İrXL + j(İaXL – İrR*).

Absolūtā vērtība spriegumam līnijas sākumā

 (8.85)

Tīkliem aprēķinu vienkāršo: spriegumu līnijas sākumā aprēķina ne pēc sprieguma krituma, bet pēc sprieguma zuduma.

***Sprieguma zudums***ir algebriska starpība starp spriegumiem līni­jas sākumā un beigās. Praktiski to līnijai var noteikt, ja ieslēdz voltmetrus līnijas sākumā un beigās. Starpība starp voltmetru rādī­jumiem ir sprieguma zudums. Varam rakstīt, ka Δ*Ůf = Ůf*1 *— Ůf*2 *= OC* - *OA* = *OD* 1 - *OA* = *AD*1.

Lai aprēķinātu sprieguma zuduma lielumu, uz reālās ass atlie­kam OC (novelkam loku ar rādiusu OC, līdz tas krusto reālo asi punktā *D*1). Tātad nogrieznis *AD*1 ir sprieguma zudums. Tā kā, tīklos ar spriegumu līdz 20 kV ieskaitot, leņķis starp spriegumu līnijas sākumā un spriegumu līnijas beigās ir mazs, pieņem, ka *AD ≈ AD*1. Tātad sprieguma zudums ir sprieguma krituma garen­komponente, t. i.,



Ja cos*φ*2 = l kļūda nepārsniedz 0,5% (starpība starp sprieguma kritumu un zudumu). Mazākām cos*φ*2 vērtībām kļūda ir mazāka. Uz­devumos parasti dod līnijas nominālo spriegumu, t. i., līnijas sprie­gumu, tāpēc arī sprieguma zudumu aprēķināsim kā līnijas sprieguma zudumu:

 (8.66)

Turpmāk aprēķinos lietosim līnijas sprieguma zuduma vērtību, neuzrādot indeksu *l* pie Δ*U*, līnijas induktīvo pretestību apzīmēsim *XL = X*.

Par ***sprieguma kritumu*** sauc ģeometrisku starpību starp sprie­gumu līnijas sākumā un spriegumu līnijas beigās:

 (8.67)

**8.12. TRĪSFĀZU LĪNIJAS SPRIEGUMA ZUDUMA APRĒĶINS,**

**JA SLODZE IR LĪNIJAS BEIGĀS.**

Ja slodze dota jaudas vienībās, formulu (8.66) pārveido­jam šādi:



 (8.68)

kur *Q* — reaktīvā jauda.

Aizvietojot formulā (8.68) *R = R*0∙*l*, *X = X*0∙*l*, iegūstam

 (8.69)

Ja līnijas sākumu apzīmējam ar *A*, patērētāja pieslēgšanas pun­ktu līnijas galā ar 1, tad līnijas garums ir *lA*1, līnija pārvada jaudu *PA*1 — *jQA*1 un sprieguma zudums līnijā

. (8.70)

**8.13. SPRIEGUMA ZUDUMA APRĒĶINS TRĪSFĀZU LĪNIJAI AR**

**VAIRĀKĀM SLODZĒM.**

Ja līnijai ir pieslēgtas vairākas slodzes, sprieguma zu­dumu aprēķina, summējot katra līnijas posma sprieguma zudumus  
  (8.71)

kur *Pmn* — posma *mn* aktīvā slodze (kW);

*Qmn* — posma *mn* reaktīvā slodze (kVAr);

*Rmn* un *Xmn* — posma *mn* aktīvā un induktīvā līnijas vadu pretes­tība (Ω);

*UN* — līnijas nominālais spriegums (kV);

Δ*U* — sprieguma zudums (V).

Tīklos ar spriegumu līdz 1000 V sastopami gadījumi, kad tīkla cos *φ*2 ir tuvs vienam (apgaismošanas tīkli). Tādā gadījumā *Q* ≈ 0 un formulu (8.71) var lietot vienkāršotā formā:

 (8.72)

Līnijas induktīvā pretestība ir maza, un aprēķinos formulu (6.68) var izmantot arī šādos gadījumos:

* kabeļu līnijās ar spriegumu līdz 10 kV un kabeļu dzīslas šķērsgriezumu (vara) līdz 35 mm2, un cos *φ*2 > 0,95;
* iekšējos elektriskajos tīklos, kas izveidoti ar auklām vai izolētiem vadiem caurulēs;
* no izolētiem vadiem uz rullīšiem iz­veidotos pievados līdz nelielas jaudas elektrodzinējiem ar strāvu vadošās daļas šķērsgriezumu līdz 6 mm2.

**8.14. TRĪSFĀZU MAIŅSTRĀVAS MAĞISTRĀLE AR VISĀ LĪNIJAS**

**GARUMĀ VIENĀDA ŠĶĒRSGRIEZUMA VADIEM**

Sprieguma zudumu var sadalīt divās komponentēs:  
  (8.73)

kur  — sprieguma zudums aktīvajā pretestībā;

 — sprieguma zudums reaktīvajā pretestībā.

Vienā un tai pašā sprieguma līnijā, lietojot dažāda šķērsgrie­zuma vadus, attālumu starp vadiem nemaina. Ja vadu savstarpējais attālums ir nemainīgs, tad, izmainot vada diametru, vadu induktīvā pretestība izmainās maz. Tā, piemēram, izmainot vada šķērsgrie­zumu (tātad arī vada diametru) no 16 mm2 līdz 120 mm2 (*Dvid* = 2000 mm), alumīnija vada induktīvā pretestība izmainās 1,2 reizes, bet aktīvā pretestība — 13,6 reizes. Tātad viena sprieguma līnijai varam pieņemt, ka induktīvā pretestība ir konstanta. Šo īpašību iz­manto, lai noteiktu vada šķērsgriezumu, ja zināms pieļaujamais sprieguma zudums Δ*UP*.

Aprēķina secība.

1. Pieņem, ka vada induktīvā pretestība *X*0 = 0,35…0,4 Ω/km, un aprēķina sprieguma zudumu induktīvajā pretestībā (formulā iznes pirms summas zīmes konstanto lielumu *X*0, ja *X = X*0*l*).

1. Tā kā Δ*Up* = Δ*Ua* + Δ*Ur*, tad Δ*Ua* = Δ*Up* ‒ Δ*Ur*. Zinot, ka aktīvā pretestība *R* = *l /γF*,



1. Vada šķērsgriezums

 (8.74)

Ja slodze izteikta aktīvās jaudas vienībās,

 (8.75)

4. Izvēlas vada standartšķērsgriezumu, no tabulām atrod *R*0 un *X*0 un aprēķina faktisko sprieguma zudumu

 (8.76)

**8.15. TRĪSFĀZU MAIŅSTRĀVAS TĪKLA APRĒĶINS,**

**IEVĒROJOT MINIMĀLO VADA MATERIĀLA PATĒRIŅU**

Trīsfāzu tīklus visos gadījumos neizbūvē ar visā līnijas garumā vienāda šķērsgriezuma vadiem. Līnijas sākumā lieto lielāka šķērsgriezuma vadus, bet virzienā uz līnijas beigām arvien mazāka šķērsgriezuma vadus, jo līnijas sākumā ir lielāka slodze nekā līnijas beigās. Atsevišķos posmos var lietot dažādu šķērsgriezumu vadus, tikai sprieguma novirze pie patērētājiem nedrīkst pārsniegt pieļau­jamo lielumu.

Vienā noteiktā variantā kopējais vadu materiāla patēriņš ir vis­mazākais. Lai atrastu tādu vada šķērsgriezuma izvēles variantu, ir izstrādāta aprēķina metode.

Apskatām piemēru. Dota līnijas shēma ar diviem patērētājiem (8.23. att.).

Pieņemot, ka līnijas induktīvā pretestība ir *X*0, aprēķinam sprie­guma zudumu reaktīvajā pretestībā Δ*Ur* un atrodam, ka Δ*Ua* = = Δ*Up* - Δ*Ur*.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 8.23. att. Shēma līnijai ar divām slodzēm. |

Posmā A-1 sprieguma zudums aktīvajā pretestībā ir Δ*UaA*1, posmā 1-2 — Δ*Ua*12 = Δ*Ua*- Δ*UaA*1. Ja zi­nāmi Δ*UaA*1 un Δ*Ua*I2, vada šķērs­griezumu abos posmos varam aprē­ķināt šādi:

 (8.77)

. (8.78)

*IaA*1 un *Ia*12 — līnijas posmu A-1 un 1-2 strāvu aktīvās komponen­tes.

Vadu materiāla kopējais tilpums visās trīs līnijas fāzēs

 (8.79)

Vienādojumā visi lielumi attiecībā pret vadu materiāla tilpumu ir konstanti, izņemot Δ*UaA*1 , kuru var mainīt. Lai atrastu vadu mate­riāla minimālo tilpumu, jāņem pirmais atvasinājums pēc Δ*UaA*1 un vienādojums jāpielīdzina nullei:



Rezultātā iegūsim

 (8.80)

Vienādojuma (8.80) kreiso pusi reizinām ar *PA*1 /*PA*1 labo pusi ar *P*12/*P*12, visu vienādojumu ar 1/*γUN*, tad

 (8.81)

Tā kā izteiksmes iekavās ir vienādas ar  un , tad varam rak­stīt, ka

 (8.82)

Tātad, lai vadu materiāla patēriņš līnijā būtu minimāls, vada šķērsgriezums līnijas posmos jāizvēlas proporcionāli kvadrātsaknei no posma aktīvās jaudas.

Attiecība  vienai un tai pašai līnijai ir konstants lie­lums, un to var aprēķināt šādi:



 (8.83)

Zinot *Kmin*, viegli var aprēķināt vada šķērsgriezumu katrā līnijas posmā

 (8.84)

**8.16. ELEKTROENERĞIJAS ZUDUMU IETEKME UZ**

**PĀRVADES PAŠIZMAKSU**

Ja gada laikā elektroenerģijas zudumi ir Δ*Wa* (kWh) un 1 kWh zudumu izmaksas ir *βz* (Ls/kWh), elektroenerģijas zudumu izmaksas (Ls)

*C*1 = *βz*Δ*Wa*.

Pārvades pašizmaksu nosaka arī amortizācijas atskaitījumi. Amortizācijas atskaitījumus izsaka procentos no līnijas sākotnējās vērtības. Tiem katru gadu jābūt tik lieliem, lai pēc noteikta gadu skaita, kad līnija nolietojusies, atskaitījumu summa būtu vienāda ar līnijas sākotnējo vērtību. Amortizācijas atskaitījumus aprēķina pēc formulas

 (8.85)

kur *K* – līnijas sākotnējā vērtība;

*t* - līnijas ekspluatācijas laiks;

*Cℓ* - līnijas likvidācijas vērtība (krāsaino un melno lūžņu vērtība, balstu un citu līnijas elementu vērtība pēc *t* gadiem).

Amortizācijas izdevumi

 (8.86)

Elektroenerģijas pārvades pašizmaksu palielina arī kārtējā remonta izdevumi *C*3 un apkalpes personāla darba algas *C*4.

Kārtējā remonta izdevumi ir nelieli un sastāda dažus procentus no līnijas sākotnējas vērtības. Remonta izdevumi nepieciešami iekārtu regulēšanai, līnijas trases tīrīšanai, dažādu pārbaužu, mērījumu izdarīšanai. Kārtējā remonta izdevumi

 (8.87)

Līnijas ekspluatācijai nepieciešams apkalpes personāls, kas veic operatīvo darbu un tehnisko uzraudzību (līnijas apgaitnieki, dežuranti apakšstacijās, administratīvi saimnieciskie darbinieki).

Kopējās gada ekspluatācijas izmaksas

 (8.88)

Vienas kWh elektroenerģijas pārvades pašizmaksa

 (8.89)

**8.17. EKONOMISKAIS STRĀVAS BLĪVUMS.**

Ja ir zināmi līnijas kapitālieguldījumi *K* un gada ekspluatācijas izmaksas *C*, varam noteikt kopējās aprēķina izmaksas gada laikā

*Z = En∙K + C*, (8.90)

kur *En* = 0,12 – normētais elektrisko līniju efektivitātes koeficients.

Projektējot elektrisko līniju, jāizvēlas tāds vada šķērsgriezums, lai kopējās aprēķina izmaksas būtu minimālas. Formulu (8.90) varam izteikt šādi:



kur  - kopējie līnijas celtniecības kapitālieguldījumi;

*a* – vienu km garas līnijas celtniecības izmaksas, kas nav atkarīgas no vada šķērsgriezuma;

*b* – koeficients, kas parāda, kā mainās līnijas celtniecības izmaksas, ja maina vada šķērsgriezumu;

*β* – elektroenerģijas pašizmaksa;

*F* – vada šķērsgriezums;

*Imax* – maksimālā strāva;

*R* – līnijas vada pretestība

*l* – līnijas garums;

*f* – summārais koeficients, kas raksturo slodzes piedalīšanos sistēmas maksimumā, nepieciešamo jaudas rezervi, lai segtu zudumus tīklā, vienas kWh cenu elektrostacijā;

 - elektroenerģijas zudumu aprēķina izmaksas;

(*βa + βr*)(*a + bF*)*l* – līnijas amortizācijas un remonta summārie atskaitījumi.

Ja formulā aizvietojam līnijas vada pretestību



varam rakstīt, ka

, (8.91)

 (8.92)

un konstruējam raksturlīknes *EnK* = *f*(*F*) – līkne 1 un *C* = *f*(*F*) – līkne 2 (8.25. att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  | 8.25. att. Kapitālieguldījumu un  ekspluatācijas izmaksu atkarība no vada šķērsgriezuma |

Abu raksturlīkņu minimumi nesakrīt, tāpēc vienādojums *Z = EnK + C* jādiferencē un atvasinājums jāpielīdzina nullei, lai atrastu vienādojumam minimumu (*dZ*/*dF* = 0).

Pamatojoties uz tehniski ekonomiskā aprēķina rezultātiem, dažādām kabeļu un gaisvadu līniju vadu markām atkarība no slodzes maksimuma izmantošanas laika izbūves noteikumos vada šķērsgriezumu ieteikts izvēlēties šādi:

 (8.93)

kur *Imax* – maksimālā aprēķina slodzes strāva normālā režīmā, A;

*Jek* – ekonomiskais strāvas blīvums, A/mm2.

Trīsfāžu tīklam



kur *St* – pārvades tīkla jauda, *Ut* – tīkla spriegums.

Ekonomiskais strāvas blīvums ir atkarīgs no slodzes maksimuma izmantošanas laika *tmax* un vada vai kabeļa materiāla *Jek = f*(*tmax*, vadītāja tips) (8.5. tab.). Ja zināms slodzes maksimuma izmantošanas laiks *tmax*, izvēlas vada vai kabeļa tipu (marku) un no 8.5. tabulas nosaka ekonomisko strāvas blīvumu *Jek*.

Vada šķērsgriezumu atkarībā no ekonomiskā strāvas blīvuma neizvēlas šādos gadījumos:

a) rūpniecības uzņēmumu elektriskajos tīklos ar spriegumu līdz 1000 V, ja uzņēmuma slodzes maksimuma izmantošanas laiks ir līdz 4000…5000 stundām;

b) atsevišķu elektroenerģijas patērētāju pievados ar spriegumu līdz 1000 V, tāpat rūpniecības uzņēmumu, dzīvojamo un sabiedrisko ēku apgaismošanas tīklos, ja tie pārbaudīti pēc sprieguma zuduma;

8.5. tabula

**Ekonomiskais strāvas blīvums**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Vada vai kabeļa nosaukums | Ekonomiskais strāvas blīvums, A/mm2 | | |
| Maksimuma izmantošanas laiks, h | | |
| 1000…3000 | 3000…5000 | 5000…8760 |
| Kailvadi un kopnes: |  |  |  |
| Vara | 2,5 | 2,1 | 1,8 |
| Alumīnija | 1,3 | 1,1 | 1,0 |
| Kabeļi ar papīra izolāciju, vadi ar gumijas vai polivinilhlorīda izolāciju un |  |  |  |
| vara dzīslām | 3,0 | 2,5 | 2,0 |
| alumīnija dzīslām | 1,6 | 1,4 | 1,2 |
| Kabeļi ar gumijas vai plastmasas izolāciju un  vara dzīslām | 3,5 | 3,1 | 2,7 |
| alumīnija dzīslām | 1,9 | 1,7 | 1,6 |

c) visu spriegumu elektroiekārtu sadales kopnēs;

d) pievados līdz rezistoriem, palaišanas reostatiem utt.;

e) pagaidu elektroietaisēs (ekspluatācijas laiks 3…5 gadi).

Ja no līnijas atzarojas vairākas slodzes un līnijas visā garumā izvēlas vienāda šķērsgriezuma vadu, ekonomisko strāvas blīvumu līnijas sākumā palielina *Kp* reizes:

 (8.94)

kur *I*1, *I*2, …, *In* – strāvas līnijas posmos;

*l*1, *l*2, …, *ln* - līnijas posmu garumi;

*L* – līnijas kopgarums.

Ja patērētāja maksimālā slodze ir nakts laikā, ekonomisko strāvas blīvumu rekomendē palielināt par 40 %. Tāpat rekomendē ekonomisko strāvas blīvumu palielināt par 40 % izolētiem vadiem ar 16 mm2 un mazāku šķērsgriezumu. Patērētāju slodze maksimālo vērtību parasti nesasniedz tūlīt pēc gaisvadu līnijas nodošanas ekspluatācijā, bet pēc vairākiem gadiem. Tāpēc maksimālo strāvu nosaka, reizinot līnijas aprēķina strāvu piektajā ekspluatācijas gadā ar koeficientu α, kuru savukārt aprēķina pēc šādas formulas:

 (8.95)

kur *i*1 = *I*1/*I*5 – aprēķina strāvas pirmajā ekspluatācijas gadā (*I*1) attiecība pret aprēķina strāvu piektajā ekspluatācijas gadā (*I*5);

*imax = Imax* / *I*5 – maksimālās strāvas pēc pieciem gadiem (*Imax*) attiecība pret aprēķina strāvu piektajā ekspluatācijas gadā (*I*5).

Otrās kategorijas patērētājiem elektroenerģiju piegādā pa diviem viens otram blakus novietotiem kabeļiem. Otro kabeļi izmanto par rezerves kabeli, lai nodrošinātu nepārtrauktu elektroenerģijas piegādi darba kabeļa bojājuma gadījumā. Darba kabeļa un rezerves kabeļa summāro šķērsgriezumu aprēķina pēc ekonomiskās strāvas blīvuma kā šķērsgriezumu vienam kabelim.

Ja līnija baro vairākus patērētājus ar dažādiem maksimuma izmantošanas laikiem, vidējo maksimuma izmantošanas laiku aprēķina pēc formulas

, (8.96)

kur *K*0 – slodžu vienlaicības koeficients.

**8.17.1. VADĪTĀJU ŠĶĒRSGRIEZUMA IZVĒLE PĒC SPRIEGUMA**

**ZUDUMA.**

Lai tīkls strādātu ekonomiski un būtu ievēroti arī elektroenerģijas kvalitātes rādītāji, lieto sekojošu aprēķina metodi:

1. Aprēķina Δ*Up*.

2. Aprēķina maksimāli pieļaujamo strāvas blīvumu *J* no sprieguma zudumu viedokļa

 (8.97)

kur *γ* – vada materiāla īpatnējā vadītspēja;

*φ* – attiecīgā līnijas posma fāzes sprieguma un fāzes strāvas nobīdes leņķis.

3. No 8.5. tab. atrod dotajai līnijai *Jek*, kas ir atkarīgs no maksimālās slodzes izmantošanas laika (stundu skaita gadā), vadu materiāla, ģeogrāfiskā rajona un līnijas veida.

4. Salīdzina *J* un *Jek*, aprēķina vada šķērsgriezumu. Šeit iespējami divi gadījumi

a) ja *J > Jek* vada vai kabeļa šķērsgriezums jāaprēķina pēc formulas

 (8.98)

Pie kam šis šķērsgriezums ir pietiekams arī pēc pieļaujamā sprieguma zuduma.

b) ja *J < Jek* vada vai kabeļa šķērsgriezums jāaprēķina pēc formulas

 (8.99)

Šajā gadījumā vada vai kabeļa šķērsgriezums it pietiekams pēc pieļaujamā sprieguma zuduma, bet neapmierina no ekonomiskā viedokļa. Tādēļ vēlams paaugstināt līnijas spriegumu vai izmainīt tīkla barošanas shēmu, ja vien tas ir tehniski iespējams.

5. Aprēķina šķērsgriezumu *Fa* izvēlas pēc standarta šķērs­griezumu skalas. Ja aprēķins izdarīts kā punktā 4.a. tad standartšķērsgriezumu var izvēloties lielāku vai ma­zāku par *Fa,* bet, ja aprēķins izdarīts kā punktā 4.b., tad standartšķērsgriezums jāizvēlas lielāks vai vienāds ar *Fa*. Pretējā gadījumā sprieguma zudums var pārsniegt pieļaujamo.

6. Pārbauda, vai izvēlētajam vada vai kabeļa standartšķērsgriezumam sprieguma zudumi nav lielāki par pieļaujamajiem

 (8.100)

kur *R*0 un *X*0 izvēlētā standartsķērsgriezuma īpatnējās aktīvās un induktīvās pretestības (Ω/km).

Ja izpildīts noteikums, ka

Δ*Uf* < Δ*Up*,

aprēķins ir pabeigts. Pretējā gadījumā jāizvēlas lielāks vada vai kabeļa atandartšķērsgriezums.

Daudzos gadījumos Δ*Uf* pārbaudei ir tikai kontroles nozīme, lai pārliecinātos, ka iepriekšējais aprēķins nav kļūdains.

Aprēķinot šķērsgriezumu pēc šīs metodes, izvēlētais šķērsgriezums nav jāpārbauda no silšanas viedokļa.

**8.17.2. GAISVADU LĪNIJAS APRĒĶINS**.

Gaisvadu līnijas aprēķins nozīme: noteikt vada šķērsgriezumu un vadu tipu; jaudas zudumi līnijā; sprieguma zudumi.

Vada aprēķināto ekonomisko šķērsgriezumu pēc formulas (8.93) pievada pie standarta šķērs­griezumu skalas. Ja šķērsgriezums pārāk liels tad var pieņemt vairāk paralēlas līnijas (vadus) no standartskalas.

Pēc izvēlēta vada tipa un markas, jāparāda pieļaujamas strāvas vērtības.

Optimālo gaisvadu līnijas garumu aptuveni var atrast no izteiksmes

*LL* = (0,3…1)*Ut*. (8.101)

Jaudas zudumus gaisvadu līnijā aprēķina pēc formulām:

 (8.102)

kur Δ*PL* – aktīvas jaudas zudumi gaisvadu līnijā, MW;

Δ*QL* – reaktīvas jaudas zudumi gaisvadu līnijā, MVAr;

*St* – pilnā pārvadīta jauda gaisvadu līnija, MWA;

*Ut* – gaisvadu līnijas spriegums, kV;

*RL, XL* – pilnā aktīva un reaktīva pretestība gaisvadu līnijā, Ω;

*nL* – paralēlo līniju skaits.

Pilnas jaudas zudumi gaisvadu līnijā:

 (8.103)

Aktīvas un reaktīvas pretestības var noteikt pēc izteiksmēm:

 (8.104)

kur *R*0, *X*0 – īpatnējas pretestības, Ω/km.

Aktīvas īpatnējas pretestības vērtības gaisvadu, kabeļu un citam līnijām pie darba temperatūra



kur *γ* – īpatnēja vadītspēja, 1 Ms = m/(Ω·mm2), *F* – vada šķērsgriezums (vienas dzīslas šķērsgriezums kabelim), mm2.

Tā ka ilgstoši pieļaujama darba temperatūra vadītāju materiālam ir 65 vai 700C, tad varam pieņemt

*γ* = 50 m/(Ω·mm2) vara vadiem

*γ* = 30 m/(Ω·mm2) alumīnija vadiem

Īpatnējas reaktīvas pretestības parasti pieņem vienādus

*X*0 = 0,4 Ω/km gaisvadu augstsprieguma līnijām

*X*0 = 0,08 Ω/km kabeļu augstsprieguma līnijām.

Sprieguma zudumi gaisvadu līnijā

 (8.105)

kur Δ*VL* – sprieguma zudums gaisvadu līnijā, %;

*PL* - aktīva pārvadīta jauda gaisvadu līnija, MW;

Lai pārveidot % uz kV izmanto izteiksme



*Piezīme*.

1. Pieļaujamais sprieguma zudums līnijā nedrīkst pārsniegt 10% no sprieguma nominālas vērtības.

2. Aptuveni aktīvas jaudas zudumus var noteikt no izteiksmes

Δ*PL* = 0,03·*SL*. (8.106)

**8.17.3. VADĪTĀJU ŠĶĒRSGRIEZUMA IZVĒLE PĒC SILŠANAS**.

Jebkuram strāvas vadītājam (kailvadi, kabeļi, kopnes utt.) caurplūstošās strāvas radīto sasilumu ietekmē virkne dažādu faktoru, no kuriem galvenie ir

1. caurplūstošās strāvas vērtības un to izmaiņa laikā;

2. apkārtējās vides temperatūra;

3. vadītāju materiāls, izolācijas tips un vadītāju savstarpējais izvietojums telpā.

Maksimāli pieļaujamo vadītāja ilgstoša sasiluma temperatūru nosaka atkarībā no vadu un kabeļu markas un izolācijas tipa. Gais­vadu līniju kailvadiem pieļaujamā ilgstošā sasiluma temperatūra ir + 70 °C, ja apkārtējā gaisa temperatūra ir +25 °C. Ilgstoši novēro­jumi ir pierādījuši, ka, pārsniedzot šo temperatūru, pārkarst vadu savienojumu kontakti, tie sāk intensīvi korodēt un strauji pieaug pārejas pretestība, kas savukārt papildus karsē kontaktus.

Kabeļiem ar gumijas vai plastmasas izolāciju svina, polivinilhlorīda vai gumijas apvalkā un vadiem (auklām) ar gumijas vai polivinilhlorīda izolāciju pieļaujamā dzīslas sasiluma temperatūra ir +65°C, ja apkārtējā gaisa temperatūra ir +25°C vai zemes temperatūra ir +15°C.

Izejot no nosacījuma par normēto ilgstoša sasiluma temperatūru, ir aprēķinātas ilgstošo strāvu maksimāli pieļaujamās vērtības *Ipieļ* visdažādāko šķērsgriezumu vadiem un kabeļiem.

Izolētiem vadiem un kabeļiem pieļaujamā strāva jānosaka, ievēro­jot ne tikai zemes visaugstāko temperatūru, bet arī kabeļu likšanas apstākļus. Ja kopā liek vairākus kabeļus, siltumapmaiņas process zemē pasliktinās, tāpēc *Ipieļ* vērtības, ir jāpareizina ar pazemi­nošu koeficientu, kura vērtība atkarīga no kopējā kabeļu skaita un atstatuma starp tiem. Ja kabeļus zemē liek caurulēs, tad aprēķiniem jāpieņem tās strāvu *Ipieļ* vērtības, kas noteiktas gaisā novie­totiem kabeļiem. Taču šādā gadījumā temperatūra caurulēs ir vie­nāda ar zemes temperatūru (piemēram, +15°C), nevis ar strāvas *Itab* aprēķinos izmantoto gaisa temperatūru +25°C. Tāpēc ir papil­dus jālieto temperatūras pielīdzināšanas koeficients. Bez tam ir jāie­vēro zemes īpatnējās termiskās pretestības vērtība kabeļa likšanas vieta. Jo sausāka un akmeņaināka zeme, jo sliktāki ir siltumapmai­ņas apstākļi un līdz ar to pieļaujamās strāvas vērtība mazāka.

Par šķērsgriezuma izvēles pamatlielumu ir jāpieņem aplēsēs strā­vās *Ia* vērtība. Jebkurā gadījumā jāizpildās no­sacījumam:

 (8.107)

kur *kp* – pārslodzes koeficients pēcavārijas režīmā vai remonta darba laikā; *k*1 — koeficients, kas atkarīgs no apkārtējas vides temperatūras; *k*2 — koeficients, kas atkarīgs no kabeļu skaita tranšejā; *k*3 — koeficients, kas raksturo zemes īpatnējo siltuma pretestību.

Avāriju seku likvidēšanas laikā kabeļiem ar polieti­lēna izolāciju ir pieļaujama pārslodze līdz 10% (*kp* = 1,1), bet kabeļiem ar polivinilhlorīda izolāciju — līdz 15% (*kp* = 1,15) no normālās slodzes. Šīs pār­slodzes ir pieļaujamas ne ilgāk par 6 stundām dienā un ne vairāk kā piecas dienas pēc kārtas, ja pārējā laikā kabeļu slodze nepār­sniedz nominālo vērtību.

Var piebilst, ka liela šķērsgriezuma vadiem un kabeļiem pieļau­jamās strāvas blīvums pēc sasilšanas apstākļiem ir mazāks nekā maza šķērsgriezuma vadiem un kabeļiem. Tas izskaidrojams ar to, ka, palielinoties kabeļa šķērsgriezumam, samazinās tā virsmas attie­cība pret šķērsgriezumu. Tātad lielu aplēses strāvu gadījumā liet­derīgi izmantot vairākus kabeļus ar mazāku šķērsgriezumu, nevis vienu kabeli ar lielu šķērsgriezumu.

**8.17.4. VADĪTĀJU ŠĶĒRSGRIEZUMA IZVĒLE PĒC TERMISKĀS**

**IZTURĪBAS ĪSSLĒGUMA GADĪJUMOS**.

Tīklos ar spriegumu virs 1000 V ir jāpārbauda tikai kabeļu termiskā izturība. Gaisvadu līniju vadi nav jāpārbauda. Tāpat var nepārbaudīt termisko izturību tiem kabeļiem, kas aizsar­gāti ar drošinātājiem, kā arī tad, ja kabeļi baro atsevišķus elektrouzņēmējus un ir paredzēta rezervēšana un tad, ja kabeļu bojāšanās (termiskā) nevar izraisīt sprādzienu vai ugunsgrēku. Pie atsevišķiem elektrouzņēmējiem var pieskaitīt arī cehu transformatorus ar jaudu līdz 2,5 MV·Α un augstāko spriegumu līdz 20 kV.

Termiski izturīgu kabeļa šķērsgriezumu aprēķina pēc formulas

 (8.108)

kur *Bk* – īsslēguma strāvas siltuma impulss, A2·s;

*C* – aprēķina koeficients, kas atkarīgs no vadītāja un izolācijas materiāla sasiluma.

Īsslēguma strāvas siltuma impulsu aprēķina pēc izteiksmes

 (8.109)

kur *I∞* - īsslēguma strāvas periodiskas komponentes vērtība;

*tc* - caur kabeli plūstošas īsslēguma strāvas ilgums;

*Ta* – īsslēguma strāvas aperiodiskās komponentes rimšanas laika konstante

 (8.110)

*R*Σ, *X*Σ – summāra aktīvā un reaktīvā pretestība līdz īsslēguma punktam;

*ω* – leņķiskā frekvence; *ω* = 2π*f* = 314 rad/s.

Sadales tīklos 6-10 kV, ja nav konkrētus datus, var pieņemt *Ta* = 0,01 s, bet *tc* no 8.6. tabulas.

8.6. tabula

**Īsslēguma strāvas laiks**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tīkla posms** | **Aizsardzības pakāpes tīkla shēmā** | **Īsslēguma iedarbības laiks, s** |
| GPA – CSP | 3 | 2,6 |
| GPA – SP | 2 | 1,6 (1,1) |
| CSP – SP | 2 | 1,6 (1,1) |
| SP – TA | 2 – 3 | 0,6 |
| GPA – TA | 2 – 3 | 0,6 |

No trim aprēķinātiem šķērsgriezumiem (ekonomiskais strāvas blīvums, silšana un termiskā izturība) jāpieņem vislielāko.

**8.17.5. KABEĻA TERMISKĀ IZTURĪBA**.

Aprēķina īsslēguma strāvas vērtību uz SP kopnēm 10 kV.

Elektroapgādes sistēmas reaktīvā pretestība pret apakšstacijas kopnēm (*UTA* = 10,5 kV)



Kabeļiem ar šķērsgriezumu 95 mm2 īpatnēja induktīvā pretestība *X*0 = 0,083 Ω/km (P.2.26. tab.). Divkabeļu līnijas induktīvā pretestība



Summārā induktīvā pretestība pret īsslēguma punktam

*XΣ = XC + XL* = 0,66 + 0,062 = 0,722 Ω.

Trīsfāžu īsslēguma strāvas vērtība uz SP kopnēm



Īsslēguma strāvas siltuma impulss



Minimālo kabeļa dzīslu šķērsgriezumu aprēķinam pēc formulas (8.108), ja C = 100



Tuvākais dzīslu šķērsgriezums *F* = 120 mm2. Tātad termiski izturīgi pret īsslēguma strāvas iedarbību kabeļi ar dzīslas šķērsgriezumu vienādu vai lielāku par 120 mm2. Tātad pēc silšana pēcavārijas režīmā vajag izvēlēt 2 kabeļus 3 x 120 ar *Ipieļ* = 315 A. Galvenais nosacījums kabeļa dzīslas šķērsgriezuma izvēlei piemērā ir silšana pēcavārijas režīmā.

**8.18. TĪKLA DARBĪBAS DROŠUMS ATKARĪBA NO**

**PATĒRĒTĀJA KATEGORIJAS.**

Visi elektroenerģijas patērētāji no darbības drošuma viedokļa dalās trīs kategorijās.

Pirmās kategorijas patērētāji ir tādi, kuriem elektro­enerģijas piegādes pārtraukšana saistīta ar cilvēku dzīvības apdraudēšanu, lieliem zaudējumiem tautas saimniecībā, sarež­ģīta tehnoloģiska procesa pārtraukšanu, ar iekārtas bojāšanu, masveida produkcijas brāķi. Šo patērētāju elektrobarošanu pieļaujams pārtraukt tikai uz laiku, kāds vajadzīgs rezerves barošanas automātiskai ieslēgšanai.

No pirmās kategorijas patērētājiem vēl tiek izdalīta speciāla grupa, kuriem barošanu nedrīkst pārtraukt. Izejot no ie­rindas elektrobarošanai, šai patērētāju grupai nodrošina bezavārijas tehnoloģiskā procesa apstādināšanu; novērš nelaimes gadījumus ar cilvēkiem, sprādziena vai ugunsgrēka rašanās iespēju, tehnoloģiskās iekārtas bojāšanu. Šajā grupā ietilpst, arī valsts iestādes ar sevišķi svarīgu nozīmi.

Otrās kategorijas patērētāji ir tādi, kuriem elektro­enerģijas piegādes pārtraukšana ir saistīta ar masveida pro­dukcijas neizlaidi, tehnoloģisko iekārtu, cilvēku un rūpnīcas transporta dīkstāvi. Otrās kategorijas patērētājiem pieļau­jams elektroenerģijas piegādes pārtraukums, kāds nepieciešama, lai ekspluatācijas personāls ieslēgtu rezerves barošanu.

Otrās kategorijas patērētājus atļauts barot pa vienu gala vadu līniju. Pa vienu kabeļu līniju šādus patērētājus atļauta barot tikai tajā gadījumā, ja tā sastāv no diviem atsevišķiem kabeļiem, kuri aparatūrai vai kopnēm pievienoti katrs ar savu atdalītāju.

Ja ir centrālā transformatoru rezerve, II kategorijas patērētājus var barot no viena transformatora.

Pie trešās kategorijas pieskaitāmi patērētāji, kuru raksturojums neatbilst pirmajai vai otrajai kategorijai. Trešās kategorijas patērētājiem pieļaujams elektroenerģijas piegādes pār­traukums ne lielāks par diennakti.

**8.19. JAUDAS KOEFICIENTA NOZĪME ELEKTROENERĞIJAS**

**ZUDUMU SAMAZINĀŠANĀ.**

Elektroenerģijas zudumu samazināšanā elektriskajā tīklā liela nozīme ir jaudas koeficientam cos*φ*. Formulā



strāvu aizvietojam ar aktīvo jaudu



tad

 (8.111)

No formulas varam secināt, ka zudumi ir apgriezti proporcionāli jaudas koeficienta kvadrātam. Ja maksimuma izmantošanas laiks nemainās, samazinoties jaudas koeficientam, elektroenerģijas zudumi tīklā palielinās. Sevišķi tas jūtams, ja maksimuma izmantošanas laiks ir mazs. Tātad, lai samazinātu elektroenerģijas zudumus elektriskajā tīklā, jāveic arī pasākumi jaudas koeficienta paaugstināšanai.

**8.20. REAKTIVĀS JAUDAS KOMPENSĒŠANA**

**8.20.l. REAKTIVĀS JAUDAS KOMPENSĒŠANAS PAŅĒMIENI.**

Reaktīvā jauda ar induktīvu rakstura rodas no fāzu nobīdes starp sprieguma un strāva, ja slodzei ir induktīvs raksturs. Reaktīvo jaudu ģeometriski saskaitot ar aktīvo jaudu, nosaka pilno jaudu. Strāvas stiprums elektriskajā ķēdē ir proporcionāls pilnai jaudai. Ja samazinās reaktīvā jauda, aktīvā jauda nemainās, un strāva ķēdē samazinās. Elektroenerģijas zudumi tikla ele­mentos un arī ģeneratoru jauda ir atkarīga no strāvas. Lai maksimāli izmantotu ģeneratorus aktīvās jaudas ražošanai un samazinātu enerģijas zudumus tikla elementos, vēlams, lai tikla elementiem nebūtu jāpārvada reaktīvā jauda. Patreizējā teh­nikas attīstības stadijā to panāk ar diviem paņēmieniem:

1. samazinot reaktīvās jaudas patēriņu (paaugstinot cos*φ* pašam patērētājam);
2. uzstādot kapacitatīva rakstura iekārtās tuvu reaktīvas enerģijas patērētājam reaktī­vās jaudas kompensēšanai.

Galvenie paņēmieni, kurus lieto patērētājā jaudas koefici­enta uzlabošanai ir sekojoši:

1. tehnoloģiskā procesa izmaina un tehnoloģiskās iekārtas nomaiņa ar iekārtu, kurai augstāks cos*φ*;
2. asinhrono dzinēju un transformatoru tukšgaitas ierobežošana;
3. asinhrono dzinēju nomaiņa ar sinhroniem dzinējiem, ja to pieļauj nepieciešamā jauda un tehnoloģiskais process;
4. maznoslogotu dzinēju un transformatoru nomaina ar mazākas jaudas dzinējiem vai transformatoriem;
5. dzinēju remonta kvalitātes uzlabošana, lai saglabātu to nominālos lielumus,

Reaktīvas jaudas kompensēšanai rūpniecības uzņēmumos lieto statiskos kondensatorus un sinhronos kompensatorus. Bez tam šim nolūkam var izmantot arī nenoslogotus sinhronos dzinējus, kabeļu vai gaisa līnijas, taisngriežu iekārtas utt.

**8.20.2. KOMPENSATORU IZVIETOŠANA UN PIESLĒGŠANAS SHĒMAS.**

Kompensējošās ietaises jāpieslēdz tiklam tā, lai būtu izpildītas sekojošas prasības:

1. kompensējošā ietaise būtu pēc iespējas tuvu reaktīvas jaudas patērētājam;
2. uzstādīšanas un ekspluatācijas izdevumi būtu minimāli;
3. kompensējošās iekārtas darbības režīms būtu racionāls.

Pirmais noteikums vislabāk tiek izpildīts, ja kompensējo­šo ietaisi pieslēdz pie tā sprieguma tīkla, pie kura pieslēgti reaktīvās jaudas patērētāji. Nelielos uzņēmumos tās ir 380 V sprieguma ietaises.

Lai izpildītu otro noteikumu, kā kompensējošo ietaisi visbiežāk izvēlas kondensatoru bateriju. Kondensatoru jaudu izvēlas tehniski-ekonomisko aprēķinu rezultātā, kur tiek noteiktas bateriju jaudas, to pievienošanas vietas un atmaksāšanas laiks, salīdzinot investīcijas ar iegūto ekonomisko efektu. Kondensatori ir metāliskos apvalkos (8.30. att.) un to elementiem ir iekšēji drošinātāji, kas atslēdz tos bojājumu gadījumos, saglabājot darbā nebojātus kondensatorus.

Paralēli kondensatoriem paredz rezistorus, ar kuru palīdzību, kondensatorus atslēdzot, tie lēni izlādējas.

Kondensatoru baterijas trīsfāzīgā slēgumā (8.31. att.) ieslēdz ar komutācijas aparātu. Tos ieslēdzot, kondensatori uzlādējas ar tīkla spriegumu.

Trešais noteikums būs izpildīts, ja kompensators būs pa­reizi noslogots bez lielas reaktīvās jaudas cirkulēšanas pa tīklu. Lai to panāktu pie mainīgas reaktīvās slodzes, konden­satoru baterijas sekcionē, paredzot daļu no kondensatoru mi­nimālas slodzes laikā atslēgt. Kondensatoru baterijas visbiežāk pieslēdz grupu sadalēm, bet var pieslēgt arī tieši pie patērētāja, ja tas darbojas nepārtraukti (individuālā kompensācija). Ja telpu raksturs vai tehnoloģiskais process nepieļauj kondensatoru pieslēgšanu pie sadales iekārtas, var lietot cen­trālu kondensatoru ietaisi transformatoru apakšstacijā. Augst­sprieguma kondensatorus var lietot tajā gadījumā, ja pie transformatora zemsprieguma sadalē trūkst vietas kondensato­ru izvietošanai un šādas shēmas izvēlei ir tehniski ekonomisks pamatojums.

|  |  |
| --- | --- |
| 8.30. att. Kondensatoru baterijas konstrukcija:  1 – rezistori; 2 - kondensatori | 8.31. att. Kondensatoru baterija trīsfāžu tīklā. |

Lai maksimāli izmantotu kondensatoru jaudu, tos slēdz trīsstūra slēgumi. Pēc kondensatoru atslēgšanas tajos sagla­bājas elektrisks lādiņš, kas var būt bīstams cilvēkam. Lai to novērstu, pēc atslēgšanas kondensatorus izlādē caur aktīvu vai induktīva rezistoru. Kondensatoru pieslēgšanas principiā­lās shēmas var redzēt 8.32., 8.33., 8.34. att.

**8.20.3. KOMPENSATORU APRĒĶINS.**

Kompensatorus aprēķina, izejot no reaktīvās slodzes lieluma energosistēmas maksimālās slodzes laikā. Pieļaujamo reaktīvo slodzi maksimālās slodzes laikā nosaka energosistēma, norādot pieļaujamo tg*φp*. Uzņēmuma dabīgo tg*φ* nosaka no aktīvās un reaktīvās enerģijas skaitītāja rādījumiem energosis­tēmas laikā. Kā no diagrammas redzams, kompensatora jauda:

|  |  |
| --- | --- |
| 8.32. att. Individuālais kompensators | 8.33. att. Grupveida kompensators |
| 8.34. att. Augstsprieguma kompensators | 8.35. att. Jaudas trīsstūris. |

*Qk* = *Q - Qp*.

kur *Q*- faktiskā reaktīvā slodze sistēmas maksimuma laikā;

*Qp* - pieļaujamā reaktīvā slodze.

Tā kā *Q = P·tgφ* un *Qp = P·tg φk*, tad

*Qk = P*(*tg φ - tg φk*). (8.112)

Šādi aprēķināta kondensatora jauda jāizvēlas pēc jaudu standartskalās.

Minimālās slodzes laikā reaktīvās jaudas patēriņš var būt ievērojami mazāks un var rasties stāvoklis, kad *Qk* > *Q*.

Tas nozīmē, ka reaktīvā jauda tiks ievadīta barojošā tīklā, kas ir nepieļaujami, jo tā paaugstina tīkla spriegumu. Lai šāds stāvoklis nerastos, kondensatoru baterija jāizveido no vairākām sekcijām, lai būtu iespēja tas pēc vajadzības atslēgt.

Atslēdzot kondensatoru, tas saglabā spriegumu, tai laikā, kad spriegums uz slēdža kontaktiem no barošanas puses pēc 1/4perioda būs pretējās zīmes. Tātad, uz slēdža kontaktiem būs divkāršs spriegums. Ja starpkontaktu dielektriskā stiprība palielinās nepietiekoši ātri, tad tā var atkārtoti tikt caursista. Katra starpkontaktu spraugas pārklāšanās rada pārspriegumu, kas var sasniegt pieckārtīgu lielumu.

Tāpēc prasība pret šiem komutācijas aparātiem ir paaugstināta. Tiem jābūt ātrdarbīgiem, kas novērš kontaktspraugas pārklāšanos, ar rezervi attiecībā pret strāvu un mazdilstošiem.

Ja kondensatori kompensē konkrētas iekārtas, piemēram, asinhronā dzinēja reaktīvās jaudas patēriņu, tad to var ieslēgt ar paša dzinēja slēdzi. Ja tiek kompensēta vairāku patērētāju reaktīvās jaudas patēriņš, tad kondensatoru bateriju pieslēdz kopnēm (8.36. att.). Gadījumā ja kompensācija ir centralizēta, kondensatoru baterijas sastāv no atsevišķi komutējamām sekcijām, kuru režīmu vada automātiskais regulators.

Sakarā ar to, ka kondensatorus paredz galvenokārt zudumu samazināšanai, regulatori parasti kontrolē reaktīvās jaudas plūsmu no objekta tīkla virzienā, to minimizējot.

Komplektās kompensējošās ietaises (KKI) reaktīvo jaudu aprēķina pēc formulas:

*Qa.KKI* = *αPa*(tg*φ* – tg*φk*), (8.113)

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

8.36. att. Kondensatoru baterijas pieslēguma vietas (*a*) un kondensatoru izvietojums sadalē (*b*).

kur *Qa.KKI* - kompensējošās ietaises reaktīvā aplēses jauda, kVAr;

*Pa* – patērētāja aktīvā aplēses jauda, kW;

*α* – rezerves koeficients;

tg*φ*, tg*φk* – jaudas koeficienti pirms un pēc kompensācijas.

Jaudas koeficienta cos*φk* vērtību parasti izvēle no diapazona 0,92…0,95 un pēc tam aprēķina tg*φk* 

Komplektās kompensējošās ietaises (KKI) tehniskie dati atrodas P.4.7. tabulā

Faktisko jaudas koeficienta vērtību pēc KKI izvēle aprēķina pēc formulas



kur *QKKI* - komplektās kompensējošās ietaises jauda, kVAr.

Aprēķina faktisko jaudas koeficientu



**8.20.4. IZLĀDES PRETESTĪBAS APRĒĶINS.**

Pēc kondensatora atslēgšanas no sprieguma uz tā platēm paliek elektriskais lādiņā, kas saglabā uz kondensatora spailēm spriegumu. Tas var būt bīstams apkalpojošam personālas. Tādēļ pēc atslēgšanas kondensators jāizlādē caur izlādēšanas pretestībām. Kā izlādēšanas pretestības var izmantot sprie­gummaiņu vai elektrodzinēju tinumus. Ja tas nav iespējams, jālieto speciālas izlādēšanas pretestības.

Zemsprieguma ietaisēs kā izlādēšanas pretestības izmanto kvēlspuldzes. Ja spriegums ir 380 V, tad jāslēdz divas spul­dzes virknē. Līdz ar to spuldžu jauda izmainās. Kondensatora izlādēšanās noris pietiekami ātri, ja uz 1 kVAr kompensatora jaudas izvēlas 1 W lielu pretestību.

**8.11. piemērs**. Trīsfāžu kompensatora jauda *Qk* = 240 kVAr vai vienā fāzē *Qkf* = 80 kVAr, *U* = 380 V.

A t r i s i n ā j u m s. Tā kā spriegums ir 380 V, katrā fāzē jāslēdz virknē divas spuldzes, kuru nominālais spriegums *UN* = 220 V. Spuldzes atrādās pie pazemināta sprieguma, tāpēc izvēlas divas 60 W spuldzes.

Faktisko jaudu nosaka, aprēķinot spuldzes pretestību



Kopējā pretestība *Rizl* = 2∙807 = 1614 Ω.

Izlādes pretestības jauda



Ka redzam , tātad spuldzes izvēlētas pareizi.

Izlādes pretestības lielumu var aprēķināt arī pēc for­mulas

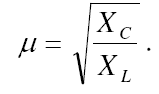
,

kur *Uf* - fāzes spriegums (kV);

*Q* - kondensatoru baterijas jauda (kVAr).

Rēķinot pēc šis formulas, izlādes pretestības vērtība ir lielāka, nekā rēķinot pēc iepriekšējās metodes.

Pašreizējos tīklos ir daudz patērētāju iekārtu ar nelineārām īpašībām, kas kropļo strāvas un, tātad, arī sprieguma līkni, radot augstākās harmoniskās. Tīklos induktivitāšu un kapacitāšu klātbūtnē var rasties rezonanse uz konkrēto harmonisko frekvencēm. Shēmā (8.37. att.) mijiedarbībā starp transformatora un slodzes induktivitātēm un kondensatoru kapacitāti var rasties paralēla rezonanse harmoniskai:



Attiecīgie lielumi līdzinās:

*Xc = U*2*Qc*; *XL = U2/Sk,*

kur *Sk -* īsslēguma jauda.

Slodzes induktīvā pretestība līdzinās:

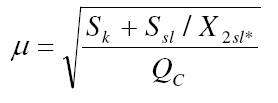
**

kur *X2sl\**  *—* slodzes relatīvā apgrieztās secības pretestība.

Shēmas summārā induktīvā pretestība:

**

Rezonanse rodas uz harmoniskās:

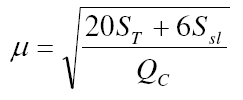
**

|  |  |
| --- | --- |
| 8.37. Apakšstacijas shēma rezonanses  aprēķiniem. | 8.38. att. Kondensatoru aizsardzība no  harmoniskām. |

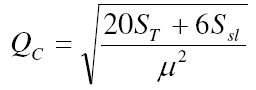
Pie mazās tīkla induktīvās pretestības to galvenokārt nosaka transformatora induktivitāte

**

Pie sadales transformatora *XT\** = 0.05 un ievērojot to, ka parasti *X2sl\** = 0,17 iegūstam:

**

Kondensatoru baterijas kritiskā jauda *Qk*, pie kuras rodas paralēla (strāvas) rezonanse līdzinās:



Parasti jāpārbauda rezonanses iespējas uz 5-tās un 7-tās harmoniskām.

Kondensatoru baterijas ģenerē reaktīvo jaudu pie sinusoidālā sprieguma. Augstākās harmoniskās tīklā izplatās apgriezti proporcionāli pretestībām. Līdz ar to induktivitāšu *X* = ω*L* pretestības aug, toties kapacitāšu reaktīvās pretestības *Xc* = 1/ ω*C* samazinās līdz ar harmoniskās numuru. Tātad harmoniskās var pārslogot kondensatoru baterijas. Tās pārkarst un bojājas. Kondensatoru baterijas no augstākām harmoniskām ir jāizsargā. To panāk, ieslēdzot tiem virknē droseli (8.38. att.).

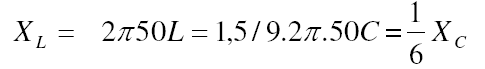
Lai kondensatori pildītu savu funkciju, ķēdes raksturam pamatfrekvencei jābūt kapacitatīvai, bet augstākām harmoniskām - induktīvai. Ņemot vērā to, ka tīklā ir trešā harmoniskā, varētu pieņemt ka *XL* pie 150 Hz būtu 1,5 lielāka par *XC:*

*XL* = 1,5XC

Trešai harmoniskai



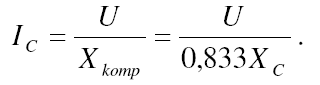
Pārrēķinot uz 50 Hz:

**

Tātad pamatfrekvencei pārsvara ir kapacitāte, turpretī augstākām harmoniskām - induktivitāte. Kopējā kompensācijas iekārtas pretestība pamatfrekvencei līdzinās:

**

Strāva, kas tek caur to līdzinās:

**

Tās jauda:

******

Kondensatoru iekārtas jauda:

**

Ne­pieņemtai attiecībai *Qc* un *Qkmp*.

Tas nozīmē, ka kondensatora iekārtas jaudai jābūt par 20% lielākai par iekārtas ģenerēto jaudu. Līdz ar to baterijai pieliktais spriegums līdzinās

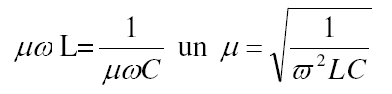


Tātad kondensatoru spriegums pārsniedz tīkla spriegumu par 20%.

Izvēloties kondensatorus, jāparedz to jaudas palielinājums reaktīvās jaudas zudumu kompensācijai reaktoros.

Kondensatori tiek aizsargāti no īsslēgumiem un pārslodzes ar selektīvām laikstrāvas raksturlīknēm.

**Harmonisko filtriem** arī tiek izmantoti kondensatoru un reaktoru kombinācijas, bet šinī gadījumā to parametri jāizvēlas tā, lai pie noteiktās harmonikas frekvences būtu rezonanse. Filtri tiek izmantot tīkla atbrīvošanai no harmoniskām. Katrai harmoniskai jāparedz atsevišķs filtrs. To reaktīva pretestībai attiecīgai harmoniskai līdzinās nullei:

**

Tātad μ-tai harmoniskai šāds filtrs rada īsslēgumu.

**8.21. SLĒGTO ELEKTRISKO TĪKLU APRĒĶINS**

**8.21.1. SLĒGTO ELEKTRISKO TĪKLU IEDALĪJUMS, PRIEKŠROCĪBAS**

**UN TRŪKUMI.**

Nenoslēgtā radiālā elektriskajā tīklā, atslēdzoties bojātam līnijas posmam, daļai elektroenerģijas patērētāju tiek pārtraukta elektroenerģijas piegāde. Tāpēc atbildīgu elektroenerģijas patērētāju barošanai izbūvē slēgtus elektriskos tīklus.

Slēgtie elektriskie tīkli piegādā elektroenerģiju patērētājiem vis­maz no divām pusēm. Ja elektroenerģiju patērētājiem tīkls piegādā tikai no divām pusēm, tādu slēgtu tīklu sauc par *vienkāršo slēgto tiklu*.

*Saliktajos slēgtajos elektriskajos tiklos* elektroenerģiju pievada mezglu punktos vismaz no trīs pusēm.

Vienkāršo slēgto elektrisko tīklu var izveidot, ja no viena baro­šanas avota atiet slēgta loka līnija (8.39. att.). Ja vienkāršajam slēgtajam elektriskajam tīklam ir divi barošanas avoti, tādu tīklu sauc par *vienkāršo slēgto elektrisko tiklu ar divpusēju barošanu* (8.40. att.).

Saliktā slēgtā elektriskā tīkla shēma parā­dīta 8.41. attēlā.

Slēgtā elektriskā tīkla priekšrocības jau tika pieminētas. Galvenie trūkumi salīdzinājumā ar nenoslēgtu tīklu — slēgto elektrisko tīklu iz­būve ir dārgāka, ekspluatācija ir sarežģītāka, grūtāk izveidot aizsardzību pret īsslēgumu.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 8.39. att. Loka līnija: 1, 2, 3, 4 *—* patērētāju pieslēgšanas vietas. | 8.40. att. Divpusēji barota līnija:  *A, B* — barošanas avoti. | 8.41. att. Saliktā slēgtā elektriskā tīkla shēma. |

**8.21.2. DIVPUSĒJI BAROTA LĪNIJA.**

Apskatām divpusēji barotas līnijas shēmu (8.42. att.). Barošanas avotu *A* un *B* spriegumi *UA* un *UB,* slodzes strāvas *i1, i2* un i3, strāvas līnijas posmos *IA1, I12, I23* un *IB3,* līnijas posmu pil­nās pretestības *ZA1, Z12, Z23* un *ZB3*

|  |
| --- |
| 8.42. att. Divpusēji barota līnija. |

Barošanas avotu sprie­gumi nav vienādi: *Ua ≠* *UB.* Pieņemam, ka mez­gla punktā *2* elektroenerģiju piegādā abi barošanas avoti, bet punktā 1 barošanas avots *A,* punktā *3 —* barošanas avots *B.*

Punktu 2 sauc par jaudas dalījuma punktu un to apzīmē arvirs mezgla punkta numura.

Starpība starp barošanas avotu spriegumiem ir vienāda ar sprie­guma kritumu līnijā:





 (8.114)

Barošanas avotu strāvu summa ir vienāda ar slodžu strāvu summu:

 (8.115)

Pamatojoties uz pirmo Kirhofa likumu un sakarību (8.115), va­ram rakstīt, ka





 (8.116)

Sakarības (8.116) ievietojam vienādojumā (8.114) un izdarām pārveidojumus:



Tā kā   



tad



Šis sakarības pēdējos trīs locekļus vispārīgā veida var uzrak­stīt šādi:



un



analoģiski

 (8.117)

Strāvas *Ia*1izteiksmi var sadalīt divās komponentēs

 un 

Pirmo strāvu sauc par *izlīdzinošo strāvu*, jo tā plūst līnijā tā­pēc, ka barošanas avotu spriegumi nav vienādi. Ja , izlīdzi­nošās strāvas tīklā nav. Otrā komponente ir atkarīga no slodžu strāvu lielumiem.

Reizinot vienādojumu (8.117) ar (1/3)∙*UN*, iegūstam vienādojumus, kuros strāvas aizvietotas ar pilnajām jaudām:



 (8.118)

kur — nominālais spriegums;

**— līnijas punkta *n* pilnā jauda.

Pēc pirmā Kirhofa likuma aprēķinām strāvas vai jaudas visos līnijas posmos.

**Sevišķi gadījumi. 1.** Barošanas avotu spriegumi ir vienādi: *,* līnijā visā garumā nav vienāda šķērsgriezuma vadi.

Izlīdzinoša strāva un jauda ir vienāda ar nulli, tāpēc aprēķina for­mulas vienkāršojas:



 (8.119)

2. Barošanas avotu spriegumi vienādi, un līnija izbūvēta ar vie­nāda šķērsgriezuma vadu visā līnijas garumā. Līnijas un tās atse­višķo posmu pilnās pretestības var izteikt šādi:

*ZAB* = (*R*0 + *jX*0)*IAB*; *ZnA* = (*R*0 + *jX*0)*l*nA;, *ZnB* = (*R*0 +*jX*0) *l*nB.

Ievietojot tās formulās (8.119)) un izdalot ar (*R*0*+jX*0),varam rak­stīt, ka

  (8.120)

Slēgts tīkls jāaprēķina normālā režīmā un avārijas režīmā.

Par *normālu režīmu* sauc režīmu, kur barošana ir no abiem barošanas avotiem; par *avārijas režīmu* —, ja viens no barošanas avotiem izgājis no ierindas vai ir bojājums līnijas posmā *A-1, B-3.*

Normālā režīmā vada šķērsgriezumu nosaka strāva un ekonomis­kais strāvas blīvums. Sprieguma zudums no barošanas avota līdz. jaudas dalījuma punktam nedrīkst pārsniegt pieļaujamo sprieguma zudumu normālā režīmā.

Avārijas režīmā sprieguma zudums no barošanas avota līdz vis­tālākajam patērētājam nedrīkst pārsniegt pieļaujamo sprieguma zu­dumu avārijas režīmā, strāvas lielums nedrīkst pārsniegt pieļaujama silšanas strāvas lielumu.

Aprēķinot divpusēji barotu tīklu, izšķiram divus gadījumus.

*Pirmais gadījums.* Līnija visā garumā izbūvēta ar vienāda ma­teriāla un vienāda šķērsgriezuma vadiem. Šādu līniju uzskata par viendabīgu.

Normālā režīmā [sk. formulas (8.120)] atrod jaudu vai strāvu sa­dalījumu tīklā, katrā posmā aprēķina strāvu un pēc ekonomiskā strā­vas blīvuma nosaka vada šķērsgriezumu. Aprēķina sprieguma zu­dumu līdz jaudas sadales punktam. Ja sprieguma zudums pārsniedz pieļaujamo lielumu, izvēlas lielāku vada šķērsgriezumu un aprēķinu izdara no jauna.

Avārijas režīmā aprēķina sprieguma zudumu līdz vistālākajam patērētājam, salīdzina ar pieļaujamo sprieguma zudumu avārijas režīmā. Aprēķina strāvu un salīdzina to ar pieļaujamo silšanas strāvu. Ja sprieguma zudums vai strāva avārijas režīmā pārsniedz pieļaujamo vērtību, jāizvēlas lielāka šķērsgriezuma vads un pār­baude jāatkārto. Otrais gadījums. Līnija izbūvēta ar dažāda šķērsgriezuma va­diem, bet pieņem, ka līnija ir viendabīga. Aprēķina aptuvenu jaudas sadalījumu līnijā normālā režīmā. Zinot jaudu katrā posmā un eko­nomisko strāvas blīvumu, aprēķina vada šķērsgriezumu un izdara pārbaudi normālā režīmā un avārijas režīmā, tāpat kā pirmajā ga­dījumā. Ja zināms faktiskais vada šķērsgriezums, atrod faktisko jaudas sadalījumu tīklā, atrod sprieguma zudumu normālā režīmā un avārijas režīmā. Ja faktiskais sprieguma zudums pārsniedz pie­ļaujamo, aprēķinu atkārto.

Ja aktīvās un reaktīvās jaudas sadales punkti nesakrīt, aprēķina sprieguma zudumu normālā režīmā līdz aktīvās un reaktīvās jaudas sadales punktiem. Pēc lielākā sprieguma zuduma var spriest, vai izraudzītais vads ir ar pietiekamu šķērsgriezumu.

Ja no slēgtā elektriskā tīkla atzarojas radiāls tīkls, sprieguma zudumu aprēķina radiālā tīklā un slēgtā tīklā līdz radiālā tīkla no­zarojuma vietai. Iegūtos lielumus saskaita un salīdzina ar pieļau­jamo sprieguma lielumu.

**8.12. piemērs.** Aprēķināt divpusēji barotu līniju, ja līnijas sprie­gums 20 kV, barošanas avoti *A* un *B.* Līnijas shēmā slodžu vienība ir kW — *j*kVAr, posmu garumu vienība — kilometrs. Maksimuma izman­tošanas laiks *tmax* = 5500 h gadā. Barošanas avotu spriegumi ir vienādi (8.43. att.).

*Risinājums.*

Pieņemam, ka līnija visā garumā izbūvēta ar vienāda šķērsgriezuma vadiem un tie novietoti vienādas konstrukcijas balstos.

1. Aprēķinām aktīvās un reaktīvās jaudas posmā *A-*1:





|  |  |
| --- | --- |
|  | 8.43. att. Līnijas aprēķina shēma 8.12. piemēram: *a* — normāls režīms, *b* — avārijas režīms |

1. Aprēķinām pilnās jaudas sadalījumu līnijā:

*S*12= (1234 - j775) - (600 - j360) = (634 - j415) kVA;

*S*23= (634-j415) - (400-j280) = (234-j135) kVA;

*S*34= (600-j360) + (520-j320) -(234-j135) = (886-j545) kVA;

*S*4B = (886-j545) + (400-j240) = (1286-j785) kVA.

1. Aprēķinām strāvu katrā līnijas posmā:





Ja maksimuma izmantošanas laiks gadā *tmax* = 5500 stundas, alu­mīnija vadu ekonomiskais strāvas blīvums J *= 1* A/mm2. Aprēķinām ekonomisko ekvivalento strāvas blīvumu *Jekv*, jo strāvas līnijas pos­mos nav vienādas. Posmos *A-l* un *B-4* ir vislielākā strāva, tāpēc vispirms aprēķinām vada šķērsgriezumu šajos posmos. Koeficients *Kp* posmā *A-3* ir



Aprēķinātais strāvas blīvums *Jekv* = 1∙1,5 = 1,5 A/mm2. Koeficients *Kp* posmā *B-3* ir



*Jekv* = 1∙1,2 = 1,2 A/mm2.

Vada šķērsgriezums līnijas posmos ir šāds:



Maģistrālei visā garumā izvēlamies vienāda šķērsgriezuma A-35, markas vadu, jo atsevišķie posmi nav gari.

Aprēķinām strāvu līnijā, ja viens no barošanas avotiem ir at­slēgts, un salīdzinām ar pieļaujamo silšanas strāvu:



I a v = 86 A < Ip = 170 A (Ip = 170 A — vada A-35 pieļaujamā silšanas, strāva).

Tātad izraudzītais vada šķērsgriezums no silšanas viedokļa ir pietiekams. Pārbaudām šajā vadā sprieguma zudumu. Aprēķinām sprieguma zudumu no barošanas punkta *A* līdz jaudas sadales pun­ktam *3* normālā režīmā, kad ieslēgti abi barošanas avoti:



kur *P* — aktīvā jauda katrā posmā (kW);

*Q* — reaktīvā jauda katrā līnijas posmā (kVAr);

*l* — posmu garumi (km);

*R*0 = 0,92 Ω/km — vada A-35 īpatnējā aktīvā pretestība;

*X*0 = 0,38 Ω/km—vada A-35 īpatnējā induktīvā pretestība;

*UN*= 20 kV — līnijas nominālais spriegums.

Sprieguma zudums procentos Δ*UA*3(%) = (332∙100)/20000 = 1,66 %. Aprēķinām strāvu un vada šķērsgriezumu līnijas atzarojumā 3-5:



Izvēlamies vadu A-25, *R*0 = l,28 Ω /km; *X*0 = 0,39 Ω /km.

Sprieguma zudums atzarojumā 3-5:





Kopējais sprieguma zudums līdz patērētājam 5ir ΔUA5= AUA3+AU35 = 1,66+0,46=2,12 %, kas ir pieļaujamās robežās (sprie­guma novirze normālā režīmā ±5 %).

Aprēķinām sprieguma zudumu avārijas režīmā, kad atslēdzies barošanas avots *B.*

Sprieguma zudums posmā A-4 (10-5. att. *b*)



Sprieguma zudums līdz patērētājam 5ir





Tātad avārijas režīmā divpusēji barotā līnija nodrošina patērē­tājiem normālu spriegumu. Līdzīgi var aprēķināt ΔU B1(%) avārijas režīmā.

**9. NODAĻA**

**PĀRSPRIEGUMI ELEKTROAPGĀDES SISTĒMĀS UN**

**AIZSARDZĪBA PRET TIEM**

**9.1. PĀRSPRIEGUMU VEIDI UN TO BĪSTAMĪBA**.

Noteiktos tīkla režī­mos ārēji un iekšēji faktori var izraisīt tādu sprieguma palielināša­nos tīklā, kas nopietni apdraud izolācijas elektrisko izturību. Šādus palielinātus spriegumus sauc par pārspriegumiem. Izšķir šādus pārspriegumus:

1. *atmosfēras pārspriegumi*, ko izraisa zibensizlāde. Tiešs zibens spēriens uz objektu iedarbojas primāri (termiski, mehāniski) un sekundāri (elektromagnētiskā indukcija, elektrostatiskā indukcija, augsta potenciāla ievadīšana («ienešana») ēkās un būvēs (9.1. att.). Primārā un sekundārā zibensstrāvas iedarbe apdraud ne tikai apkalpojošo personālu, bet arī elektroiekārtu izolāciju; noteiktos apstākļos tā var izraisīt sprādzienu un ugunsgrēku ražošanas telpās;

|  |
| --- |
| 9.1. att. |

1. *komutācijas pārspriegumi*, kas rodas gan normālā režīmā, pie­slēdzot vai atslēdzot tīkla elementus, gan avārijas režīmos. Tā, piemēram, atslēdzot ar jaudas slēdzi nelielas induktīvas vai kapacitīvas strāvas, pārspriegums reāli var sasniegt 4*Uf,m*. Pārsprieguma ziņā viens no bīstamākajiem avārijas režīmiem ir vienas fāzes zemes­ slēgums ar intermitējošu loku izolētas neitrāles tīklā. Šī zemesslēguma laikā spriegums tīklā var palielināties līdz 3,5∙*Uf*;

3) *rezonanses pārspriegumi*, kas kopa ar komutācijas pār­spriegumiem veido t. s. *iekšējos pārspriegumus*. Elektriskās sistēmas satur daudz induktīvu un kapacitīvu elementu, kuri dažādās kombi­nācijās veido svārstību kontūrus. Šos kontūrus normālā darba re­žīmā šuntē slodze, un kaut cik ievērojamu svārstību rašanās nav iespējama. Taču dažādos avārijas režīmos, kad svārstību kontūri at­dalās no slodzes, svārstību procesi kļūst iespējami un pārspriegumi var sasniegt lielas vērtības — (5…6) *Uf*.

Lai tīkls būtu ekonomisks, paaugstinoties tīkla nominālajam spriegumam, samazina tīkla izolācijas rezerves. Gan šī iemesla dēļ, gan arī tāpēc, ka palielinās iekšējo pārspriegumu absolūtās vērtī­bas, superaugsta un ultraaugsta sprieguma tīklos noteicošie kļūst komutācijas un rezonanses pārspriegumi.

**9.2. AIZSARDZĪBA PRET TIEŠIEM ZIBENS SPĒRIENIEM**.

Ēku un brīvgaisa elektroietaišu aizsardzībai pret tiešiem zibens spērieniem lieto dažādu konstrukciju *zibensnovedējus* (9.2. att.):

|  |
| --- |
| 9.2. att. Raksturīgākas zibensnovedēju konstrukcijas:  *a -* atsevišķi stāvošs zibensnovedējs, *b -* līnijas aizsardzība ar trosēm, *c* – kombinētais stieņa-troses  zibensnovedējs, *d* - ēkas aizsardzība ar sietveida zibensnovedēju; 1 - zibensuztvērējs,  2 — balstkonstrukcija, 3 — zemētājvads, 4 — zemētājs, 5 — trose |

1) *stieņveida zibensnovedējs* sastāv no zibensuztvērēja, balst­konstrukcijas, zemētājvada un paša zemētāja. *Zibensuztvērēju* iz­gatavo no 2…2,5 m gara velmēta profiltērauda ar vismaz 100 mm2 šķērsgriezumu, jo tam jābūt izturīgam pret zibensstrāvas elektrodinamisko iedarbi. *Balstkonstrukcijas* atkarībā no zibensnovedēja aug­stuma, klimatiskajiem apstākļiem, slodzes un citiem apsvērumiem izgatavo no koka, dzelzsbetona vai metāla. *Zemētājvads* savieno zibensuztvērēju ar zemētāju. Tā forma (apaļtērauds, plakantērauds, leņķtērauds vai tērauda caurules) atkarīga no konkrētiem apstākļiem, bet minimālais termiski izturīgais šķērsgriezums noteikts. Par zemētājvadiem drīkst izmantot arī metālkonstrukcijas (portālu statnes, balstkonstrukcijas, dzelzsbetona kolonnu vai balstu garenarmatūru u. tml.). Zemētājs nodrošina pietiekami efektīvu zibensstrāvas izplūdi zemē. Celtniecības normās dotas rak­sturīgākās zibensnovedēju zemētāju konstrukcijas un tām atbilstošā zemētājpretestība kā funkcija no grunts īpatnējās pretestības.

Zibensnovedēja zemētājvada un pašā zemētāja zibensstrāvas im­pulsa izplūdes laikā potenciāls reāli var sasniegt 1500…2000 kV. Lai nenotiktu caursite uz aizsargājamo objektu, jāievēro minimāli pieļaujamie attālumi (sk. *lzv* un *lz* 9.2. att. *a*), kuru skaitliskās vēr­tības var noteikt pēc EIN dotajām empīriskajām izteiksmēm;

1. *trosveida zibensnovedējs* atšķiras no stieņveida zibensnovedēja ar to, ka zibeni uztver virs aizsargājamā objekta nostiepta cin­kota vairākdzīslu tērauda trose ar šķērsgriezumu s ≥ 35 mm2. Gadī­jumos, kad jāaizsargā izstieptu un koncentrētu objektu grupa, var izrādīties ekonomiski izdevīgs kombinēts zibensnovedējs (sk., piemēram, stieņa-troses zibensnovedēju 9.2. att. *c*);
2. *sietveida zibensnovedēja* (9.2. att. *d*) atšķirīgā pazīme ir tā, ka zibensstrāvas uztvērējs izveidots kā metāla tīkls. Šos zibensno­vedējus rekomendē uzstādīt ēkām ar plakaniem jumtiem (jumta kri­tums nepārsniedz 8% no ēkas maksimālā augstuma).Kā sietveida zibensnovedēja paveidu var uzlūkot vienlaidu skārda vai dzelzsbetona jumtu, kas, savienots ar zemētāju, veido drošu zibensaizsardzību.

Attiecībā pret aizsargājamo objektu stieņveida un trosveida zibensnovedēji var būt ierīkoti kā *atsevišķi stāvoši* vai arī izvietoti *uz aizsargājamā objekta konstrukcijām.*

Pēc skaita un savstarpējās iedarbības stieņveida un trosveida zibensnovedējus iedala *savrupos*, *dubultos* un *daudzkāršos* zibens­novedējos. Daudzkāršie zibensnovedēji satur vismaz trīs zibensnove­dējus, kas neatrodas uz vienas taisnes un veido kopīgu aizsargzonu.

Projektējot zibensaizsardzību, jāvadās pēc EIN un celtniecības normām. Šajos normatīvajos materiālos pieņemti vairāki ēku, teritoriju un citu lielumu iedalījumi, kuriem ir būtiska nozīme pārsprieguma aiz­sardzību izvēlē:

1. Latvijas teritorija iedalīta 3 rajonos (9.3. att.);

|  |
| --- |
| 9.3. att. Latvijas teritorijas iedalījums rajonos atkarībā no negaisa stundu skaita gadā. |

2. visas ēkas pēc zibensaizsardzības prasībām iedala 3 katego­rijas:

I kategorija — ražošanas ēkas ar B-I un B-II klases sprādzien­bīstamām telpām;

II kategorija — ēkas ar citu klašu sprādzienbīstamām telpām;

III kategorija — visas pārējās ēkas, ieskaitot ugunsbīstamās ēkas.

Mainoties kategorijai, var visai būtiski mainīties ēkas zibensaizsardzībai izvirzāmās prasības. Tā, piemēram, zibens­novedēja zemētāja impulspretestībai, ja grunts īpatnējā pretestība ρ < 500 Ω∙m, jābūt šādai:

I kategorijas ēkām — līdz 10 Ω,

III kategorijas ēkām — līdz 20 Ω;

3. tiek graduēta grunts īpatnējā pretestība (homogēnai jeb vienslāņa grun­tij) vai ekvivalentā īpatnējā pretestība (nehomogēnai jeb vairākslāņu gruntij). Atkarībā no tā, vai ρ ir lielāks, vienāds vai mazāks par vērtībām 50, 100, 500, 1000 Ω∙m, būtiski mainās zibensnove­dēja zemētāja faktiskā un pieļaujamā pretestība;

4. zibensnovedēja aizsargāto telpu iedala divās aizsargzonās A un B (9.4. att.). A zona ir telpas daļa, kurā objekta aizsar­gātība (drošuma pakāpe) ir vienāda vai augstāka par 99,5%. B zonā šī drošuma pakāpe var samazināties līdz 95%. Da­žādu aizsargājamo objektu iekļaušana A vai B zonā normatīvajos materiālos saistīta ar sagaidāmo zibenstrāpījumu skaitu, kāds būtu attiecīgai ēkai gada laikā bez zibensaizsardzības.

|  |  |
| --- | --- |
| Zibens aizsardzības parametri:  *h* ‒ stieņveida zibensnovedēja augstums, m;  *h*0 ‒ stieņveida zibensnovedēja aizsardzības konusa augstums, m;  *hx* ‒ aizsargājamās būves augstums, m;  *hм* ‒ stieņveida zibens uztvērēja augstums (*hM = h - h*0), m;  *hа* ‒ zibensnovedēja aktīvais augstums, m;  *r*0, *rх* ‒ aizsardzības rādiusi zemes līmenī un aizsargājamās būves augstumā, m;  *hс* ‒ stieņveida zibensnovedēja vidējas daļas augstums, m;  2*rс*, 2*rх* ‒ dubulta stieņveida zibensnovedēja vidējas zonas platums zemes līmeņi un aizsargājamās būves augstumā, m; | **B**  **A**  9.4. att. Atsevišķa stieņa veida zibens  novedēja aizsardzības zona. |

*α* ‒ aizsardzības leņķis, grāds;

*L* ‒ attālums starp diviem stieņveida zibensnovedējiem, m;

*а* ‒ pārlaiduma garums starp troses balstiem, m;

*hоп tb* ‒ troses balsta augstums, m;

*rх + r'х* ‒ troses zibensnovedēja aizsardzības zonas platums aizsargājamās būves augstumā, m;

*а* + 2*rсх* ‒ dubulta troses zibensnovedēja aizsardzības zonas garums aizsargājamās būves augstumā, m;

*а* + 2*rс* ‒ dubulta troses zibensnovedēja aizsardzības zonas garums zemes līmeņi , m.

Savrup troses zibensnovedēja augstums *h* ir augstums pārlaiduma centrā. Lai to aprēķinātu izmanto formulas (troses šķērsgriezums 35…50 mm2):

*h = htb* – 2 – ja *a* < 120 m; (9.1)

*h = htb* – 3 – ja 120 < *a* < 150 m. (9.2)

Zibens spērienu skaits gadā aprēķina pēc izteiksmēm:

— koncentrētiem būves konstrukcijām (dūmeni, torni, augstceltni)

 (9.3)

kur *hх* — būves vai celtnes augstums, m;

*n* — vidējais zibens spērienu skaits gadā uz 1 km2 aizsargājamās būves vietā (sk. 9.2. tabulu), 1/(km2·gads);

— taisnstūra būvēm un celtņiem

 (9.4)

kur А un В — būves garums un platums, m.

9.1. tabula

**Zibensnovedēja aprēķina formulas pie *h* < 150 m**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Zona А** | | | **Zona B** |
| **1** | | | **2** |
| **Savrups stieņveida zibensnovedējs** (9.4. att.) | | | |
| ; | | | ;  ; |
| **Dubults viena augstuma stieņveida zibensnovedējs** (9.5. att.) | | | |
| **Pie *L ≤ h***,  *hc = h*0; *rcx = rx*; *rc = r*0. | | | |
| **Pie *h* < *L* ≤ 2*h***  *hc = h*0 – (0,17 + 0,0003·*h*)(*L – h*);  *rc = r*0;    **Pie 2*h* < *L* ≤ 4*h***  *hc = h*0 – (0,17 + 0,0003·*h*)(*L – h*); | | | **Pie *h* < *L* ≤ 6*h***  *hc = h*0 – 0,14(*L – h*);  *rc = r*0; |
| **Pie *L* > 4*h***  Zibensnovedējus aprēķina ka savrup  stieņveida zibensnovedēju | | | **Pie *L* > 6*h***  Zibensnovedējus aprēķina ka savrup stieņveida zibensnovedēju |
| **Dubults dažāda augstuma stieņveida zibensnovedējs** (9.6. att.) | | | |
| Ārējas zonas aizsardzības gabarīti *h*01, *h*02, *r*01, *r*02, *rx*1, *rx*2 aprēķina ka savrup stieņveida zibensnovedējiem. Iekšējas zonas aizsardzības gabarīti aprēķina pēc formulām:  *rc* = 0,5(*r*01 + *r*02); *hc* = 0,5(*hc*1 + *hc*2);  *hc*1 и *hc*2 vērtības var noteikt līdzīgi dubulta viena augstuma stieņveida zibensnovedējiem | | | |
| **Savrup troses zibensnovedēji (9.7. att. )** | | | |
| ; | | ;  ; | |
| **Dubulta viena augstuma troses zibensnovedēji (9.8. att.)** | | | |
| **Pie *L ≤ h***,  *hc = h*0; *rcx = rx*; *rc = r*0. | | | |
| **Pie *h* < *L* ≤ 2*h***  *hc = h*0 – (0,14 + 0,0005·*h*)(*L – h*);    *rc = r*0; | **Pie *h* < *L* ≤ 6*h***  *hc = h*0 – 0,12(*L – h*);  *rc = r*0; | | |
| **Dubulta dažāda augstuma troses zibensnovedēji (9.9. att.)** | | | |
| *h*01, *h*02, *r*01, *r*02, *rx*1, *rx*2 aprēķina pēc savrup troses zibensnovedēja formulām.  *rс* и *hс* pēc izteiksmēm: *rc* = 0,5(*r*01 + *r*02); *hc* = 0,5(*hc*1 + *hc*2). *hc*1, *hc*2,  aprēķina pēc dubulta viena augstuma troses zibensnovedēja formulām. | | | |

9.2. tabula

**Sakarība *n* = *f*(*tvid*)**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *tvid*, h/gads | 10...20 | 21...40 | 41...60 | 61...80 | 81...100 | ≥ 101 |
| *n*, 1/(km2·gads) | 1 | 2 | 4 | 5,5 | 7 | 8,5 |

Piezīme. *tvid* — negaisa stundu skaits gadā, h/gads.

Ja zināmi *hx* un *rx*, savrupa stieņveida zibensnovedēja *B* zonas atbilstošo augstumu, m, var noteikt pēc formulas

 (9.5)

|  |
| --- |
|  |

9.5. att. Dubulta viena augstuma stieņveida zibensnovedēja aizsardzības zona

**9.1. piemērs**. Noteikt savrupa stieņveida zibensnovedēja aizsardzības zonas parametrus un attēlot grafiski. Aprēķināt aizsargājama objekta izmēri un negaisa stundu skaits gadā. Dotie lielumi: *h* = 50 m; *hх* = 20 m; *В* = 20 m; *n* = 61/(km2·gads)

Atrisinājums:

1. stieņveida zibensnovedēja aizsardzības zonas parametri aprēķina pēc 9.1. tabulas formulām.

Zona A:

*h*0 = 0,85*h* = 0,85·50 = 42,5 m;

*r*0 = (1,1 – 0,002*h*) = (1,1 – 0,002·50)·50 = 50 m;

*rx* = (1,1 – 0,002*h*)(*h* – 12,2*hx*) = (1,1 – 0,002·50)·(50 – 1,2·50) = 26 m;

|  |
| --- |
|  |

9.6. att. Dubulta dažāda augstuma stieņveida zibensnovedēja aizsardzības zona

|  |
| --- |
|  |

9.7. att. Vienas troses zibens novedēja aizsardzības zona

|  |
| --- |
|  |

9.8. att. Divu viena augstuma trošu zibens novedēja aizsardzības zona

*hM* = *h – h*0 = 50 – 42,5 = 7,5 m;

*ha = h – hx* = 50 – 20 = 30 m;



|  |  |
| --- | --- |
|  | 9.9. att. Dubulta dažāda augstuma troses zibensnovedēja aizsardzības zona |

Zona B:

*h*0 = 0,92*h* = 0,92·50 = 46 m;

*r*0 = 1,5*h* = 1,5·50 = 75 m;

*rx* = 1,5(*h* – 1,1*hx*) = 1,5·(50 – 1,1·20) = 42 m;

*hM* = *h – h*0 = 50 – 46 = 4 m;

*ha = h – hx* = 50 – 20 = 30 m;



2. Aizsargājama objekta parametri un gabarīti

Zona A:



cos*φ*(A) = cos22,60 = 0,92;



A x B x H = 48 x 20 x 20 m

Zona B:



cos*φ*(B) = cos13,80 = 0,97;



Pieņemam A = 81 m.

A x B x H = 81 x 20 x 20 m.

|  |
| --- |
|  |

9.10. att. Savrupa stieņveida zibensnovedēja aizsardzības zonas, *h* = 50 m.

3. Zibens spērienu iespējamais skaits gadā, ja nav aizsardzības





Aizsardzības zonas parametri parādīti 9.10 attēlā.

**9.2. piemērs**. Noteikt dubulta viena augstuma troses zibensnovedēja aizsardzības zonas A parametrus un attēlot grafiski. Aprēķināt aizsargājama objekta izmēri un zibens spērienu skaits gadā. Dotie lielumi: *htb*1 = *htb*2 = 22 m; *hх* = 10 m; *L* = 25 m; *а* = 40 m; *n* = 71/(km2·gads).

Atrisinājums:

1. Dubulta viena augstuma troses zibensnovedēja aizsardzības zonas A parametri

Tā ka *a* < 120 m, tad

*h = htb* – 2 = 22 – 2 = 20 м;

*h*0 = 0,85·*h* = 0,85·20 = 17 m;

*r*0 = (1,35 – 0,0025·*h*)·*h* = (1,35 – 0,0025·20)·20 = 26 m;

*hc = h*0 – (0,14 + 0,0005*h*)(*L – h*) = 17 – (0,14 + 0,0005·20)(25-20) = 16,05 m;

*rc = r*0 = 26 m;



*rx* = (1,35 – 0,0025*h*)(*h* – 1,2*hx*) = (1,35 – 0,0024·20)·(20 – 1,2·10) = 10,4 m.

Piezīme. Ja būves augšēja atzīme krustojas ar pārlaiduma līniju, tad jāaprēķina *r’x*.



|  |
| --- |
|  |

9.11. att. Dubulta viena augstuma troses zibensnovedēja aizsardzības zona

2. Aizsargājama objekta maksimālie gabarīti:

*А = а* + 2·*rсх* = 40 + 2·9,8 = 59,6 m.  
Pieņemam veselo skaitli A = 59 m.

*В = L* + 2*rх* = 25 + 2·10,4 = 45,8 m.  
Pieņemam veselo skaitli *В* = 45 m.

А x В x Н = 59 х 45 х 10 м.

3. Zibens spērienu iespējamais skaits gadā, ja nav aizsardzības.

*N* = [(*В* + 6·*hХ*)(А + 6·*hХ*) ·7,7*h*2*x*]*n* ·10-6 = [(45 + 6·10)(59+6·10)+7,7·102]·7·10-6 =

= 8,2·10-2.

Aizsardzības zonas parametri parādīti 9.11 attēlā.

**9.3. PĀRSPRIEGUMA AIZSARDZĪBA AR IZLĀDŅIEM.**

Ne vien­mēr ekonomiski izdevīgi likt aizsargtroses visa līnijas garumā, un līdz ar to iespējami tieši zibens trāpījumi gaisvadu līnijās. Zibensizlādes izraisī­tie pārsprieguma viļņi var pa fāžu vadiem nonākt elektro­stacijās un apakšstacijās, caursist elektroiekārtu izolāciju un izraisīt avārijas. Tikpat nevēla­mas sekas var būt pašās elektroietaisēs ģenerētajiem iekšējiem pārspriegumiem.

Aizsardzībai pret minētajiem pārsprieguma viļņiem izmanto

1) atklātu dzirksteļstarpu (9.12. att. *a*). Dzirksteļstarpa sastāv no diviem elektrodiem no kuriem viens savienots ar stāvu vadošo daļu, bet otrais ar zemētāju. Ja līnijā parādās pārsprieguma vilnis *U*(*t*) tad pie noteiktai sprieguma vērtībai *UC* notiek dzirksteļstarpas caursite. Viena daļa no pārsprieguma vilnim aizies tālāk, bet otra – zemē caur elektrisko loku starp elektrodiem. Dzirksteļstarpa ir lēta un vien­kārša aizsargierīce, taču tai ir vairāki trūkumi:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |

9.12. att. Dzirksteļstarpes darbības princips (*a*), voltsekunžu raksturlīknes (*b*), c – pārsprieguma novadītāja vispārējais apzīmējums: 1— aizsargājamās izolācijas voltsekunžu raksturlīkne, 2— atklātas dzirksteļstarpas voltse­kunžu raksturlīkne.

* līkne (caursites laika atkarība no pieliktā sprie­guma amplitūdas), kuru visai grūti saskaņot ar ievērojami lēze­nāko aizsargājamās izolācijas voltsekunžu raksturlīkni (sk. līkni 1 tajā pašā attēlā);
* katra dzirksteļstarpas caursite rada zemesslēgumu caur elek­trisko loku, kas efektīvi zemētas neitrāles tīklā izraisa attiecīgā posma atslēgšanu ar releju aizsardzību, jo nav loka dzēšanas iekārtas.

2. Tīklos 3 -35 kV ar izolēto neitrāli izmanto raga tipu dziksteļstarpu, kas nodrošina arī loka dzēšanu noteiktos apstākļos (9.13. att.). Tīklos ar spriegumu 6-10 kV loka dzēšana notiek 1,2 s laikā, ja strāva *I* ≤ 300 A un atstatums starp elektrodiem *l*1 = 30 vai 60 mm, bet palīg atstarpe *l*2 = 15 mm.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 9.13. att. Raga tipa dzirksteļstarpa  apakšstaciju un gaisvadu līnijas aizsardzībai ar spriegumu 6-10 kV. |

3. Garendzirksteles pārsprieguma novadītājs (GPN). Darbības princips bāzējas uz slīdoša izlādes efekta (9.14. att.). GPN izlādes elementa garums daudzkārt lielāks par aizsargājamo izolatoru. Šajā gadījumā praktiski izslēgta iespēja rasties loka izlādei starp elektrodiem.

GPN izmanto 6-10 kV līnijas ar kailvadiem un izolētiem vadiem. Darba temperatūra no mīnus 600C līdz +500C, darba mūžs – 30 gadi.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

9.14. att. Garendzirksteles pārsprieguma novadītājs gaisvadu līnijas aizsardzībai ar spriegumu 6-10 kV.

4. cauruļizlādņus (9.15. att. *a*). Tiem ir divas dzirksteļstarpas: ārējā *l*1, kā arī iekšējā *l*2, kura atrodas fibrobakelīta vai vinilplasta caurulē. Pārsprieguma vilnim sasniedzot caursites sprieguma vērtību *Uc*, tiek caursistas abas dzirk­steļstarpas un izlādņa ķēdē sāk plūst izlādes strāva, kuras reizinājums ar izlādņa ķēdes pretestību nosaka paliekošo spriegumu uz izlādņa (*Upal*). Pēc tam kad pārsprieguma vilnis norimis, caur iz­lādni turpina plūst tīkla sprieguma izraisītā 50 Hz frekvences pavadstrāva. Strāvas izraisītajam lokam iedarbojoties uz izlādņa caurules sieniņām, no tām ģenerējas ūdeņ­radi saturoša gāze. Tā rada spēcīgu garenpūsmu un dzēš loku, pirmo reizi strāvai ejot caur nulli.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

9.15. att. Cauruļizlādņa uzbūves un pieslēgšanas shēma(*a*), cauruļizlādņa grafiskais apzīmējums (b) :1 — fibrobakelīta vai vinilplasta gāzģenerējoša caurule, 2 — stieņveida elektrods, 3 — gre­dzenveida elektrods; *l*1— ārējā dzirksteļstarpa, *l*2— iekšējā dzirksteļstarpa.

Cauruļizlādņiem ir divi specifiski raksturlielumi: minimālā at­slēgšanas strāva (ja pavadstrāva samazinās zem šīs vērtības, ģe­nerētā garenpūsma nav pietiekama loka nodzēšanai) un maksimālā atslēgšanas strāva (lielākā pavadstrāva, kuras loku var nodzēst ga­renpūsma spraugā *l*2). No teiktā izriet, ka salīdzinājumā ar atklātu dzirksteļstarpu cauruļizlādnim ir tikai viena priekšrocība — spēja dzēst pavadstrāvas radīto loku. Vienlaikus jāatzīmē galvenie cauruļizlādņu trūkumi:

* visai neliels ir atslēdzamo pavadstrāvu diapazons — jaudīgā­kajiem viniplasta cauruļizlādņiem 2…12 kA;
* ir tāda pati stāva voltsekunžu raksturlīkne kā atklātai dzirksteļstarpai (tāpēc cauruļizlādņus galvenokārt uzstāda gaisvadu līni­jās un to pievados apakšstacijām);
* izgatavo tikai līdz 110 kV spriegumam;

5. ventiļizlādņus (9.16. att.), kuru galvenās sastāvdaļas ir vairākkārtīga dzirksteļstarpas, kas izgatavota no speciālas formas misiņa diskiem (9.16. att. *b*), un tai virknē slēgts ne­lineārs rezistors. Kopīgās dzirksteļstarpas sastādīšana no vairākām elementārām dzirksteļstarpām veicina elektriskā lauka izlīdzinā­šanu un lēzenākas voltsekunžu raksturlīknes veidošanu (sk. līkni 3 9.17. att. *b*). Nelineāro rezistoru izgatavo no vilita diskiem, kurus veido no karborunda un šķidrā stikla cietināta maisījuma. Diskiem piemīt spēja nelineāri samazināt elektrisko pretestību, palielinoties pieliktajam spriegumam (sk. voltampēru raksturlīkni 9.17. att. *b*). Pēc pārsprieguma viļņa izlādes, rūpnieciskās frekvences pavad­strāvu izlādnī uztur tīkla spriegums. Tas ir daudz mazāks par pārspriegumu, un nelineārā rezistora pretestība pieaug 10…15 rei­zes salīdzinājumā ar pretestību impulsa strāvai. Līdz ar to pavadstrāva tiek ierobežota un dzirksteļstarpas to pārtrauc galīgi.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***a*** | ***b*** | ***c*** |
| 9.16. att. Ventiļizlādņa uzbūve (*a*), dzirksteļstarpas  komplekta griezums (*b*), grafiskais apzīmējums (*c*):  1 - korpuss no porcelāna; 2 - vilita diski; 3 - dzirksteļstarpa;  4 - dzirksteļstarpas komplekts; 5 - porcelāna cilindrs;  6 - tērauda atspere; 7 - gumijas starplika; 8 - čuguna atloks ;  9 - rezistors; 10 – diski no misiņa; 11 - mikanita starpliki;  12 - elektrods | |

Iekārtu izolācijas elektrisko izturību pieņemts raksturot ar *pār­baudes spriegumu Upārb*, kas dažādām elektroiekārtām dots standartā. Šīs iekārtas uzlūko par aizsargātām pret pārspriegumiem, ja izlādņa caursites un paliekošais spriegums ir mazāks par *Upārb*. Aizsargājamās izolācijas elektriskās izturības saskaņošanu ar attiecīgiem izlādņu parametriem sauc par *izolācijas koordināciju.*

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |
| 9.17. att. Ventiļizlādņa elektriskā shēma (*a*), izlādņa darbību ilustrējoša skice (*b*); 1— aizsargājamās izolācijas voltsekunžu raksturlīkne, 2— ventiļizlādņa voltse­kunžu raksturlīkne, 3 — faktiskā sprieguma maiņa uz izlādņa, 4 *—* strāvas maiņa izlādņi, 5 — uz izlādņi krītošais pārsprieguma vilnis. |

9.3. tabula

**Ventiļizlādņa ar vilita diskiem raksturlielumi**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nominālais**  **spriegums, kV** | **Pieļaujamais**  **spriegums, kV** | **Caursites**  **spriegums,**  **kV eff** | **Impulsa**  **caursites**  **spriegums,**  **kV max** | **Paliekošais spriegums pie**  **impulsa stāvas ar fronte**  **viļņa garumu, kV max** | | |
| **3000 А** | **5000 А** | **10000 А** |
| Elektriskā tīkla aizsardzība | | | | | | |
| 3 6 10 15 20 35 110 110 150 220 330 500 | 3,8 7,6 12,7 19 25 40,5 110 126 138 200 363 525 | 9-11 16-19 26-30,5 38-48 49-60,5 78-98 200-250 245-312 275-345 400-500 560 760 | 20 30 45 70 85 125 285 340 375 530 740 1130 | 13,5 25 42 57 75 122 315 380 435 630 680 970 | 14,5 27,5 45 61 80 130 335 405 465 670 740 1060 | 16 30 50 67 88 143 367 445 510 734 820 1170 |
| Elektriskās mašīnas aizsardzība | | | | | | |
| 3 6 10 | 3,8 7,6 12,7 | 7,5-9,5 15-18 25-30 | 11 21 35 | 10 19 32 | 11 21 35 | 12-13,5 22,5-25 37,5-41,5 |

Projektējot elektroietaises pārsprieguma aizsardzību pret gais­vadu elektropārvades līniju pievadītiem pārsprieguma viļņiem, *izlādņi jāizvēlas pēc šādiem galvenajiem kritērijiem* (9.18. att.):

1) pēc nominālā sprieguma:

*Uizl, N* = *Ut*; (9.6)

|  |
| --- |
| 9.18. att. Raksturīga shēma brīvgaisa sadales aizsardzībai pret elektropārvades  līnijas pievadītiem pārsprieguma viļņiem: *FV*lun *FV*2— cauruļizlādņi, *FV*3 *—* ventiļizlādnis. |

1. pēc izlādņa veida. Cauruļizlādņus uzstāda gaisvadu līnijās un to ievados (9.18. un 9.19. att.). Saskaņā ar EIN tiem jāpārbauda, vai īsslēguma strāva atrodas šo izlādņu darba diapazonā. Ja minēto kritēriju ne­var apmierināt, atļauts cauruļizlādņus aizstāt ar atklātām dzirksteļ­starpām. Ventiļizlādņus galvenokārt uzstāda brīvgaisa un slēgta­jās sadalēs;



9.19. att. Brīvgaisa sadales aizsardzība ar ventiļizlādniem РВО, РВН, РВС sērijās

1. pēc pieļaujamā attāluma no izlādņa līdz aizsargājamai elek­troiekārtai (konkrētiem apstākļiem šie attālumi doti EIN;
2. pēc pieslēgšanas veida strāvu vadošajai daļai (ar atsevišķa atdalītāja vai ar izlādnim un spriegummainim kopīga atdalītāja starpniecību; vispār bez komutācijas aparāta).

Aizsargtroses (sk. 9.18. att.) apakšstacijas ienākošo līniju pievados 0,15…4 km garumā uzstāda tāpēc, lai izslēgtu tie­šus zibens trāpījumus apakšstacijas tuvumā, kas izraisa izolācijai sevišķi bīstamus pārsprieguma viļņus ar stāvu fronti. Pārvietojo­ties pārsprieguma viļņiem pa vadiem, tie daļēji rimst un to fronte kļūst slīpāka.

**9.4. PĀRSPRIEGUMA NOVADĪTĀJI NELINEĀRIE.**

Varistors (varistor, no angļu valoda Vari(able) (Resi)stor )**.** Varistorus galvenokārt izmanto pārspriegumu aizsardzībai visa veida elektriskajās ķēdēs. Rodoties enerģētiskā pārsprieguma maksimumam, varistors pāriet no augstomīgā stāvokļa vadošā pozīcijā. Krītoties spriegumam, tas atkal iegūst lielu pretestību. Tādējādi tiek absorbēti nevēlamie sprieguma impulsi.

Varistors ir rezistors ar nelineāru raksturlīkni, kuras funkcija ir *R = f(U).* Pie tam šī funkcija ir nelineāra un tās stāvums mainās atkarībā no varistoram pieliktā sprieguma.

Šobrīd sērijveidā ražotie varistori ir izgatavoti no metālu un keramikas sakausējuma. Pirmos varistorus izgatavoja no silīcija karbīda (SiC). Lai iegūtu labākas materiāla īpašības, mūsdienās pārsvarā izmanto metālu oksīdus: titāna oksīdu (TiΟ2) un cinka oksīdu (ZnO). Šos kristāliskos materiālus kopā ar keramiskām saistvielām sapresē mazās plāksnītēs vai stienīšos un tad sakausē 1000°C - 1500°C temperatūrā, iegūstot materiāla vēlamās elektriskās īpašības. Starp abām metāla kontaktplāksnītēm (1) atrodas sakausēta cinka oksīda (2) slānis, kuram piejaukti citi metāla oksīdi (3) (9.20. att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  | 9.20. att. Metāla oksīda varistora uzbūve: 1 – kontaktplāksnīte; 2 - sakausēta cinka oksīda slānis; 3 - citi metāla oksīdi; 4 - epoksīdsveķu kārtiņa; 5 - izvadi |

Aktīvo daļu no mehāniskas vai ķīmiskas iedarbības aizsargā epoksīdsveķu kārtiņa (4). Vienlaikus tā kalpo arī kā izolators. Izvadi (5) ir izveidoti tā, lai tos varētu pieslēgt dažādi. Bez plāksnīšveida varistoriem sastopami arī bloka tipa varistori, kuros aktīvā daļa iekausēta blokveida korpusā. Plāksnīšveida un bloka tipa varistoru paraugi ir redzami attēlā 9.21.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

9.21. att. Varistoru konstrukciju veidi

Metāla oksīda varistora uzbūve un raksturlīkne ir parādīta attēlā 9.22. Varistora elektrovadītspēja veidojas materiālu sakausēšanas procesā. Laba vadītspēja piemīt ZnO vai TiO2 granulām, citām jaukto kristālu granulām ir augsta omiskā pretestība. Kausēšanas procesā ZnO vai TiO2 graudu saskares vietās izveidojas pārejas pretestības, kuras var nosaukt arī par mikrovaristoriem.

Kā redzam attēlā 9.22., varistora voltampēru raksturlīkne ir simetriska ar izteiktu sprieguma ierobežojumu. Pateicoties atšķirīgiem jaukto kristālu graudu izmēriem, kā arī dažādam keramikas slāņa biezumam, varistoru caursites spriegumu iespējams variēt plašā diapazonā. Silīcija karbīda (SiC) un metāla oksīdu varistoru raksturlīkņu atšķirība un varistoru shematiskais apzīmējums redzami 9.23. attēlā.

Kā redzam, metālu oksīdu varistoru raksturlīkne ir ievērojami stāvāka, un šie varistori nodrošina kvalitatīvāku darbu. Kā redzams 9.23. attēlā, raksturlīknes virzās simetriski, tātad nepastāv nekāda atkarība no pieliktā sprieguma polaritātes. Tāpēc parasti varistoru raksturlīknes zīmē tikai pozitīvajā strāvu apgabalā, jo otrā apgabalā būs tas pats tikai spoguļattēlā.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 9.22. att. Metāla oksīda varistora darbības princips un raksturlīkne |  |  |
| 9.23. att. Varistoru raksturlīknes un shematiskais apzīmējums: a) metāla oksīda varistors, b) SiC varistors. | |

Attēlā 9.24. parādīta varistora raksturlīkne un atzīmēti raksturīgie ierīces parametri.

No attiecības Δ*U/*Δ*I* kāpuma katram raksturlīknes punktam ir iespējams aprēķināt varistora dinamisko pretestību *Rs.* Sākot no nullpunkta, strāvas pieaugums ir visai niecīgs un pretestība šeit ir liela. Virs caursites sprieguma strāvas pieaugums ir ļoti straujš, un dinamiskā pretestība ir maza. Šeit sākas normālā darba zona. Šajā zonā dinamisko pretestību raksturo koeficients *β*. Sasniedzot noteiktu strāvu, iestājas piesātinājums un dinamiskā pretestība vairāk nesamazinās. Šajā zonā pieaug gan spriegums, gan strāva un varistora izkliedētā jauda ievērojami palielinās. Tā ir pārslodzes zona un varistoru darbināt šajā zonā nav paredzēts.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 9.24. att. Varistora darba zonas un  parametri |

Varistoru ražotāji raksturlīknes parasti zīmē dubultlogaritmiskā mērogā. Tehniskajās specifikācijas uzdotie varistoru svarīgākie parametri ir šādi:

* maksimāli pieļaujamais sinusoidālais maiņspriegums *Ueff mах* (angļu vai.: *RMS Voltage).* Tā ir maksimāli pieļaujamā sinusoidāla maiņsprieguma efektīvā vērtība, kas ilgstoši drīkst iedarboties uz varistoru. Dažādiem varistoriem tā ir robežās no 4V līdz 2800V;
* maksimāli pieļaujamais līdzspriegums Umax (angļu vai.: *DC Voltage).* Tā ir maksimāli pieļaujamā līdzsprieguma vērtība, kas ilgstoši drīkst iedarboties uz varistoru. Tā ir robežās no 5V līdz 3500V;
* varistora spriegums UV1mA (angļu val.: *Varistor Voltage).* Tas ir sprieguma kritums uz varistora, ja strāvas stiprums caur varistoru ir 1 mA. Šis spriegums var būt robežās no 8V līdz 5000V.

Kā redzam varistora spriegums UV1mA ir robežspriegums pie kura sākas strāvas strauja augšana un sprieguma ierobežošana (9.25. att.). Jāņem vērā, ka viena tipa varistoriem ir noteikta raksturlielumu izkliede. Tā parasti ir ±10%.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 9.25. att. Varistora raksturlielumi |

Ražotāji norāda arī citus raksturojošos lielumus, piemēram, maksimāli pieļaujamo izkliedes jaudu, varistora pārslēgšanās laiku u.c.

Varistorus pieslēdz paralēli aizsargājamiem elektroiekārtām (9.26. att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  | 9.26. att. Varistora slēguma shēma: 1 – varistors; 2 – patērētājs. |

Maiņstrāvas gadījumā un normālā darba režīmā caur varistoru plūst neliela kapacitīva rakstura strāva (9.27.att.).

|  |  |
| --- | --- |
|  | 9.27. att. Varistora strāva un spriegums maiņstrāvas gadījumā. |

**9.5. ĒKAS IEKŠĒJO KOMUNIKĀCIJU AIZSARDZĪBA**

**NO PĀRSPRIEGUMA**

Paredzot ēkai labu zibens aizsardzību, to pasargā no tiešiem zibens trāpījumiem. Taču, lai pasargātu dažādas ierīces pašā ēkā, nepieciešams veikt pasākumus ēku iekšējo iekārtu aizsardzībai no pārsprieguma. Veiktie pētījumi rāda, ka zibens sekas pēc trāpījuma zemē jūtamas pat līdz 2 km attālumā no tā trāpīšanas epicentra. Līdz ar to nevar izslēgt iespēju, ka arī bez tieša zibens trāpījuma ēkā tā sekas var tikt izjustas. Pilsētās mājas lielākoties pievienotas dažādām komunikācijām, kas sekmē potenciāla iekļūšanu ēkā.

Veicot pētījumus pēc tieša zibens trāpījuma ēkā var secināt, ka gandrīz 50% no izlādes enerģijas pa ēkā ienākošām komunikācijām iekļūs ēkā un tikai 50% uzreiz novadīta zemē. Ja ēkām nebūtu pienākošo komunikāciju, tad ēkā nevarētu tikt iekšā 50% zibens enerģijas, jo ēka būtu izolēta. Pārsvarā neviena ēka nav izolēta un ēkā ienāk kaut vai viena komunikācija. Līdz ar to pastāv iespēja, ka ēkā iekļūst zibens enerģija, pret kuru nepieciešams veikt aizsardzības pasākumus. 9.28. attēlā ilustrēts iespējamais zibens enerģijas sadalījums.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 9.28. att. Zibens enerģijas sadalījums pēc tieša trāpījuma ēkā  100% zibens enerģijas sadalās šādi  50% novadīta uz zemi.  Pārējie 50% sadalās šādi:  aptuveni 10% - ūdensvads (ja tas ir metāla);  aptuveni 10% - gāzesvads (ja tas ir metāla);  aptuveni 10% - kanalizācija (ja tā ir metāla);  aptuveni 10% - elektroievads;  aptuveni 5% - citi metāliskie ievadi;  max 5% vai 5kA sadalās pa visiem datu posmiem |

Dotais 9.28. attēlā zibens enerģijas sadalījums var būt savādāks atkarībā no ienākošajām komunikācijām. 9.28. attēlā parādīts un noteikts vidējais iespējamais zibens spēriena enerģijas sadalījums pēc Vācijas DIN normām.

Lai aizsargātu ēkas dažādas iekārtas no pārsprieguma, pieņemts veikt šādus pasākumus: gan padomju instrukcijā, gan Eiropas normās pieprasīts visas ienākošās metāla komunikācijas, spēka kabeļus, vājstrāvas tīklus pievienot potenciāla izlīdzināšanas kopnei. Attēlā 9.29. parādīts ienākošo komunikāciju pieslēgšanas princips potenciāla izlīdzināšanas kopnēm Vācijā.

Potenciāla izlīdzināšanas kopnei tieši pieslēdz metāla ūdens caurules, metāla kanalizācijas caurules (9.30., 9.31. att.). Minētās metāla inženiertīklu komunikācijas pieslēdz tieši potenciāla izlīdzināšanas kopnei, neizmantojot dzirksteļspraugu. Ja ūdens ievada caurulei uzlikts ūdens skaitītājs, tad potenciāla izlīdzināšanai pieslēgumu izdara pirms ūdens skaitītāja ievada. Šķidrā kurināmā metāla caurules, gāzes ievada metāla caurules pieslēdz potenciāla izlīdzināšanas kopnei caur dzirksteļspraugu. Elektrokabeļu ievadus, datu tīklu ievadus un telekomunikāciju tīklus pieslēdz to ievada sadalēs potenciāla izlīdzināšanas kopnei caur dzirksteļspaugām.

|  |
| --- |
| ***a*** |
| ***b***  9.29. att. Komunikāciju pieslēgšana potenciāla izlīdzinošai kopnei: *a* – kopskats;  *b* – komunikāciju instalācija |

|  |
| --- |
|  |

9.30. att. Potenciāla izlīdzināšanas kopne (potential equalisation busbar)

|  |
| --- |
|  |

9.31. Potenciālu izlīdzināšanas piemērs

Potenciāla izlīdzināšanas kopne izveidota ar nolūku, piemēram, ja tieša vai netieša zibens trāpījuma rezultātā potenciāls nokļūst līdz datoram, tad dators var tikt bojāts, jo potenciāla starpība var sabojāt elektroniskās shēmas. Ja datu tīkli būs pieslēgti potenciāla izlīdzināšanas kopnei, potenciāls izlīdzināsies un potenciāla starpība nesabojās elektroniskās shēmas.

Atkarībā no elektrotīkla veida ir dažādi paņēmieni pārsprieguma novadīšanai. Šie risinājumi pārsvarā mainās atkarībā no dažādām pārsprieguma novadīšanas iekārtu izgatavotāju firmām. Tomēr galvenais princips saglabājas. Tālāk apskatīta divu Latvijā izmantojamo elektrotīklu aizsardzība no pārsprieguma pēc Eiropas un Vācijas normām. Attēlā 9.32. dots TN-C-S tīkls, kuram parādīta pārsprieguma iekārtu pieslēgšana.

Attēlā 9.33. ir ilustrēts TT elektrotīkls ar izlādņu pieslēgšanu.

Eiropa lieto četru klašu pārsprieguma aizsardzības iekārtas.

A klases pārsprieguma aizsardzības iekārtas uzstāda uz elektropārvades līnijām un ēkās šīs klases izlādņus nelieto.

B klases izlādņus jau lieto ēku aizsardzībai no pārsprieguma. B klases pārsprieguma aizsardzības uzstāda elektrokabeļa ievadā. Šī aizsardzība izveidota ar dzirksteļspraugu un paredzēta liela pārsprieguma novadīšanai.

Nākošā pārsprieguma aizsardzības iekārtu klase ir C. Šo pārsprieguma aizsardzības iekārtu klasi lieto pēc B klases novedējiem. Šīs klases izlādņus ēkās lieto galvenajās sadalēs un apakšsadalēs.

|  |
| --- |
| **TN-C-S tīkls: instalācijas piemērs ar ārējo pretzibens aizsardzības aprīkojumu**  9.32. att. TN-C-S tīklā paredzētie izlādņi atbilstoši Eiropas normu prasībām |

|  |
| --- |
| **TT tikls: instalācijas piemērs**  9.33. att. TT tīklā paredzētie izlādņi atbilstoši Eiropas normu prasībām |

B klases aizsardzību uzstāda kabeļa ievadā, bet C klases aizsardzību var likt galvenajā sadalē. Ja starp B un C klases izlādņiem ir elektroenerģijas skaitītājs, tad nepieciešams ievērot šādus nosacījumus. Starp šiem abiem izlādņiem jābūt vismaz 10 m garam kabelim. Tas nepieciešams tādēļ, ka C klases izlādņi komutē jau krietni mazāku pārsprieguma vērtību nekā B klases. C klases pārsprieguma aizsardzības iekārta novada to pārsprieguma daļu, kuru nav novadījusi pilnībā B klases iekārta. Kabeļa garums ir jāievēro, jo pretējā gadījumā B klases pārsprieguma aizsardzība var nostrādāt mazliet vēlāk nekā C klases, kura ir jutīgāka. Rezultātā C klases iekārtu var sabojāt. C klases aizsardzība bez dzirksteļspraugas ir kombinēta ar diodēm un tiristoriem. Pēdējā laikā šīs abas iekārtas ir apvienotas vienā un tajās ir papildus induktivitātes elements, lai ievērotu pareizu iekārtu funkcionēšanu. Ja ievadā ir liels automātslēdzis vai drošinātājs, tad papildus pirms B vai apvienotā B un C klases izlādņa paredzēts uzstādīt drošinātājus. Tas darīts ar nolūku, lai gadījumā, ja ir nepārejošs īsslēgums, pasargātu izlādņi un tā dzirksteļspraugas kontakti neapdegtu. Vēl ir ceturtā D klase, kuru pārsvarā lieto jutīgu elektronisko ierīču aizsardzībai (datoriem u.c.). Ja ēkā uzstāda D klases izlādņus, tad pirms tiem nepieciešams uzstādīt B un C klases izlādņus. Pretējā gadījumā lielu pārsprieguma vērtību D klases izlādnis var nekomutēt, kā rezultātā to var sabojāt un aizsargājamo iekārtu arī bojāt.

**9.6. ZIBENS UN PĀRSPRIEGUMA NOVADĪTĀJI.**

Ēkas un celtnes, kuras pieskaita zibens aizsardzības I un II kategorijām, jāaizsargā no tiešiem zibens trāpījumiem, no sekundārajām zibens izpausmēm un jāparedz aizsardzība pret lielu potenciālu ienešanu ēkās un celtnēs pa virszemes un pazemes metāla komunikācijām.

Ēkām un celtnēm, kuras pieskaita III aizsardzības kategorijai, jāaizsargā no tiešiem zibens trāpījumiem un jāparedz aizsardzība pret lielu potenciālu ienešanu ēkās un celtnēs pa virszemes un pazemes metāla komunikācijām.

Ārējas iekārtas, kuras pieskaita II aizsardzības kategorijai, jāaizsargā pret tiešiem zibens trāpījumiem un sekundārām zibens izpausmēm.

Ārējas iekārtas, kuras pieskaita III aizsardzības kategorijai, jāaizsargā pret tiešiem zibens trāpījumiem.

Iekšpusē ēkām ar lielu platību (platākai par 100 m) jāveic pasākumi potenciāla izlīdzināšanai.

Mūsdienās liela nozīme tiek pievērsta elektroinstalāci­jas drošībai. Elektroinstalācijas izolācijas bojājumi un nolietojums pa­rasti veidojas pakāpeniski, apkārtējās vides (temperatūras, mitruma) izmaiņu rezultātā. Nolietojusies elektroinstalācija var bojāt citas ierīces, izraisīt ugunsgrēku un, pats galvenais, apdraudēt cilvēka dzīvību. Galvenais mērķis ir piedāvāt risinājumus drošai un nepārtrauktai energosistēmas darbībai, īpa­ši vietās, kur augsta līmeņa drošība ir ļoti svarīga.

***Iekšējā tīkla pārspriegumu aizsardzība***. Tīkla pārspriegumu aizsardzībai pastāv 3-pakāpju aizsardzības koncepcija (9.34. att.).

|  |
| --- |
|  |

9.34. att. Tīkla pārsprieguma 3-pakāpju aizsardzība

**1-pakāpe**. Zibensnovedējs (rupjā aizsardzība) - izmanto tīkla aizsardzībai pēc DIN VDE 0675 daļa 6, klase B.

**2-pakāpe**. Pārsprieguma novadītājs (vidējā aizsardzība) - nākamā aizsardzī­bas pakāpe tuvāk patērētājam pēc DIN VDE 0675 daļa 6, klase C.

**3-pakāpe**. Iekārtu aizsardzība (smalkā aizsardzība) - aizsardzība pie patērētāja, klase D.

Šīs trīs aizsardzības pakāpes veido vienotu kompleksu patērētāju aizsardzībai nodrošinot to normālu darbību.

A klases aizsardzības elementus izmanto gaisvadu zemsprieguma līnijas aizsardzībai.

Novadītājus iedala trīs klasēs:

* Zibensnovedēji - klase B (rupjā aizsardzība);
* Pārsprieguma novadītājs klase C (vidējā aizsardzība);
* Iekārtu aizsardzība klase D (smalkā aizsardzība).

**Lai izvelētos novadītāju ir nepieciešams zināt vismaz divus parametrus:**

* Vietas bīstamības raksturojums;
* Iekārtu jutība (parasti gala patērētājs).

Izvēloties novadītājus (9.4. tabula), jāņem vērā ne tikai tiešās izmaksas (vadu un iekārtu bojājumi), bet arī netiešās izmaksas (ierīces darbaspējas zau­dēšana).

9.4. tabula

**Novadītāju izvēle**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | **Vietas bīstamības raksturojums** | | |
|  |  | **Ļoti**  1. Kalnu rajons  2. Klaji stāvošas mājas  3. Ēkas:  - ar zibensaizsardzību  - ar gaisvadu līniju pieslē­gumu  - atrašanās vieta blakus esošai augstai celtnei (piem. baznīca)  - augstsprieguma līniju tuvumā | **Vidēji**  • Ciemati  • Ēkas ar gaisvadu līniju pieslēgumu | **Zemi**  • Ēkas pieslēgums - ar kabeļi |
| Gala patērētāju  jutība | maza | **B + C** | **C** | **C (1)** |
|  | vidēja | **B + C** | **C** | **C** |
|  | augsta | **B + C + D** | **C + D** | **C + D** |

(1) Ēkai atrodoties arī zema zibens bīstamības rajona rekomendē uzstādīt C - klases aizsardzību.

***Zibens un pārsprieguma novadītāju montāža***. Montāžu drīkst veikt tikai kvalificēts personāls, ievērojot visas tehniskās prasības.

Lai palielinātu drošību izmanto vēl potenciālu izlīdzināšanu un zemēšanu;

Lai izvairītos no papildus sprieguma krituma, nepieciešams (starp aktīvo vadītāju un novadītāju, starp novadītāju un poten­ciālu izlīdzināšanu) savienotājvads pēc iespējas īsāks;

Zibensnovedēju (rupjā aizsardzība) jāinstalē galvenā sadalē tīkla ieejā, tālāk paredzot pārsprieguma aizsardzību;

Starp zibens un pārsprieguma aizsardzību jāparedz vada garums 15m. Ja šis attālums netiek ievērots, tad nepieciešams uzstādīt droseli (piemēram, firmas Hager SP936/SP937 droseli), starp abām aizsardzības pakāpēm;

Zibensnovedēji (rupjā aizsardzība) klase B;

Pārsprieguma novadītājs (vidējā aizsardzība) klase C;

Iekārtu aizsardzība (smalkā aizsardzība) klase D.

**Instalācijas piemēri:**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Novadītāju**  **variācijas** | **Galvenā**  **sadale** |  | **Instalā-**  **cijas**  **sadale 1** |  | **Instalā-**  **cijas**  **sadale 2** |  | **Gala**  **patērētājs** |  | **Vada garums L1** | **Vada garums L2** |
| Zibensnovedējs (rupjā aizsardzība)  B  +  Pārsprieguma novadītājs  (vidēja aizsardzība)  C  +  Iekārtu aizsardzība (smalkā aizsardzība)  D | B | L1 | C D |  |  |  | **Televizors**  **HiFi**  **PC**  **Veļas**  **mašina**  **Drēbju**  **žāvētājs**  **Leduskapis** |  | 15 m |  |
| B | L1 | C | L2 | D |  |  | 15 m | jebkurš |
| B El\*C | L1 | D |  |  |  |  | jebkurš |  |
| BEl\*CD |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Zibensnovedējs (rupjā aizsardzība)  B  +  Pārsprieguma novadītājs (vidējā aizsardzība)  C | B | L1 | C |  |  |  |  | 15 m |  |
| B El\*C |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Pārsprieguma novadītājs  (vidējā aizsardzība)  C  +  Iekārtu aizsardzība (smalkā aizsardzība)  D | C | L1 | D |  |  |  |  | jebkurš |  |
| C D |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | C  C D | L2 | D |  |  |  | jebkurš |
| Pārsprieguma novadītājs  (vidējā aizsardzība)  C | C |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | C |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | C |  |  |  |  |
| Mazākais pārsprieguma stiprums izolācijai | **6 kV** | | **4 kV** | | | |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | **1,5 kV** | |  |  |  |

Piemērs: TN-C-S sistēmā

|  |
| --- |
| 9.35. att. Elektrouzņēmēju TN-C-S barošanas shēma ar 3- pakāpju aizsardzību |

Paskaidrojums: ja drošinātāja F3 nomināla strāva lielāka par 125A, tad novadītājam vajadzīgs papildus drošinātājs F4 ar nominālo strāvu 125A.

**TN-S sistēma**. Šai sistēmai papildus nullvadā nepieciešama rupjā un vidējā aizsardzība.

**TN-C** un **TN-C-S** sistēma ar firmas Hager zibens un pārsprieguma novadītājiem paradīta 9.36. attēlā (Piezīme: Drošinātāji F2 var nenostrādāt, ja tīkla drošinātājiem nomināla strāva ≤ 160 A).

|  |
| --- |
|  |

9.36. att. TN-C un TN-C-S sistēma ar firmas Hager zibens un pārsprieguma novadītājiem

**TT- sistēma.** 9.37. attēlā paradītadivpakāpju aizsardzība TT sistēmā ar firmas Hager zibensnovedēju SP150, bet 9.38. att. TT-tīkls ar strāvas noplūdes automātu aizsardzību.

|  |
| --- |
|  |

9.37. att. Divpakāpju aizsardzība TT sistēmā

**EVU Galvenā sadale Instalācijas sadale Gala patērētājs**

|  |
| --- |
| 9.38. att. TT-tīkls ar strāvas noplūdes automātu aizsardzību |

Ja drošinātāja F3 nomināla strāva ir lielāka par 125A, tad novadītājam vajadzīgs papildus drošinātājs F4 ar nominālo strāvu 125A.

*Uzmanībai.* Ja zibensnovedēju un pārsprieguma novadītāju montē vienā sadalnē, tad starp tiem ķēdē ir jāslēdz drosele.

Elektriskā drošība zemētiem elektroenerģijas tīkliem: *Noplūdes strāvas kontrole; Noplūdes strāvas kontroles sistēmas.*

Elektriskā drošība nezemētiem elektroenerģijas tīkliem: *Izolācijas kontroles iekārtas; Izolācijas bojājumu vietas noteikšanas ierīces; Zemējuma bojājumu ierīces.*

Medicīnas telpās lietojamie enerģijas avoti: *pārslēgšanas un kontroles moduļi; Indikācijas un vadības paneļi; Atdalošie transformatori.*

Mērīšanas un kontroles releji: *Sprieguma releji, strāvas releji, ne simetrijas releji, fāžu secības releji; Frekfences releji; Speciālie kontroles releji.*

Elektriskās drošības pārbaudes iekārtas: *Pārbaudes iekārta medicīnas elektroiekārtām; Pārbaudes iekārtas elektroiekārtām.*

**Pārsprieguma novadītājs klase B.** B klases pārsprieguma novadītājs pēc VDEW normām paredzēts uzstādīšanai elektroapgādes tīklā.

Piemēram, firmas Hager pārsprieguma novadītājus SP120 un SP320 papildus nevajag aizsargāt ar drošinātājiem, ja iekārtas drošinātāji ir mazāki par 160A. Iekārtās ar lielākiem drošinātājiem novadītāji tiek aizsar­gāti ar 160A drošinātājiem.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Pārsprieguma novadītājs SP120 | Pārsprieguma novadītājs SP320 | Pārsprieguma novadītājs SP150 |

9.39. att. Pārsprieguma novadītāji klase B.

**Drosele.** Drosele ir mākslīga induktivitāte, kuru slēdz starp zibensnovedēju un pārsprieguma aizsardzību.

Drosele speciāli paredzēta darbības koordinēšanai starp abiem novadītājiem. Ja ar reālo induktivitāti (vadiem) 215m starp abām aizsardzības pakāpēm nepietiek, tad izmanto droseli. Drosele montāžu drīkst veikt tikai sertificēts personāls.

Piemēram, firmas Hager droseli SP936 jāaizsargā ar drošinātāju uz 35 A gL un SP937 ar drošinātāju uz 63 A gL. N - vadā drošinātājs nav nepieciešams.

**Pārsprieguma novadītāji, klase C.** Šie pārsprieguma novadītāji paredzēti triecienstrāvu novadīšanai līdz 15 kA, 8/20 μs . Atlikušais spriegums pie 15 kA sastāda 1,5 kV. C klases pārsprieguma novadītāji ir varistora tipa. Bojājuma gadījumā pārsprieguma novadītājs nomaina karodziņa krāsu, tā liecinot par defektu. Pārsprieguma novadītāji ir ar maināmu aizsardzības elementu un novadītāji ir aprīkoti ar signālkontaktu.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 9.40. att. Droseles pieslēgšanas princips  B - zibensnovedējs; C - Pārsprieguma novadītājs;  El - Drosele |

Pārsprieguma novadītājus drīkst aizsargāt ar drošinātājiem ar nominālo strāvu 125A.

Potenciālu izlīdzināšanas vadam ir jāatbilst DIN VDE 0185T-100 un IEC 1024-1. Mazākais pieļaujamais šķērsgriezums ir 6mm2.

Pārsprieguma novadītājs ir jāiezemē par īsāko ceļu

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | |  |  |  | | --- | --- | --- | | Imin | 250 V AC / 0,5 A 250 V DC / 0,1 A | | | Imax | 125 V DC / 0,2 A 75 V DC / 0,5 A | | |  |  |  | | Vada Smin | 0,25 mm2 | 0,25 mm2 | | Vada Smax | 1,5 mm2 | 1,5 mm2 | |

9.41. Signālkontaktu pieslēgums pie pārsprieguma novadītājiem SP117N, SP317N, SP417N un SP419N.

Pārsprieguma novadītājs, klase D. Lai nodrošinātu vislabāko pārsprieguma aizsardzību gala patērētājiem (piem. televizors, radio..) papildus vidējai aizsardzībai jāizmanto pārsprieguma novadītājus (klase D), piemēram iekārtu aizsardzība SP202 (klase D).Iekārtu aizsardzība ir pēdējā aizsardzības pakāpe pārsprieguma aizsardzības koncepcijā. Tāpēc šai iekārtai ir jānodrošina pīķa sprieguma samazināšana līdz pieļaujamai vērtībai. Firmas Hager pārsprieguma novadītāju SP202 var montēt blakus vidējās aizsardzības pārsprieguma novadītājam.

Pastāv dažādi uzstādīšanas veidi. Var kontrolēt tikai ievadu, tā­dējādi redzot visas sistēmas izolācijas pretestību. Lai vieglāk va­rētu atrast kritisko posmu, kurš drīz būs bīstams, un novērst to, var kontrolēt ne tikai ievadu, bet sadalīt esošo tīklu vairākos posmos, kā tas ir parādīts 9.35.-9.38. attēlā, Iekārta spēj noteikt, tieši kuram tīkla posmam ir jāpievērš pastiprināta uzmanība.

|  |  |
| --- | --- |
| 9.42. att. Pārsprieguma novadītāja (klase D)  pieslēguma shēma. | Medicīnā, jo īpaši operāciju zālēs, šādu iekārtu nepieciešamī­bu nosaka starptautiskais standarts IEC 60364-7-710:2002-11, piemēram, operāciju zālēs elektroinstalācijai jābūt IT sistēmā, kas nozīmē lietot atdalošos transformatorus. Šajos transformatoros obligāti jābūt temperatūras kontrolei, t.i., iekārtai, kas kontrolē transformatora temperatūru, patēriņa slodzi un izolācijas pretestību.  Pazīstamie Eiropas ražotāji *DEHN, BENDER, ABB, LEGRAND, ISKRA, CITEL, EFEN, OBO BETERMANN* u.c. piedāvā pilnīgu pār baudes aparatūras iekārtu un sistēmas elektriskās drošības pārbaudei, iekļaujot datu ap­strādes programmu, aksesuārus un produkcijas sortimentu. |

**9.7. STATISKĀ ELEKTRĪBA UN AIZSARDZĪBA PRET TO**

**9.7.1. STATISKĀS ELEKTRĪBAS RAŠANĀS UN BĪSTAMĪBA.**

Ar *statisko elektrību* saprot elektriskos lādiņus, kas sadalīti pa dielektriķa vir­smu vai tilpumu un atrodas relatīvā miera stāvoklī. To pārvietoša­nās telpā parasti notiek kopā ar elektrizētajiem ķermeņiem. *Elektrizācija* ir sarežģīts fizikāli ķīmisks process, ko izraisa divu ķer­meņu (visbiežāk dielektriķu) vai vielas daļiņu savstarpēja saskare kustībā (berze). Elektrizācija izpaužas tā, ka, pārtraucot ķermeņu saskari, katrs no tiem ieguvis noteiktu pretējas zīmes lādiņu. Tā lielums ir atkarīgs no tādiem faktoriem kā saskarošos daļu dielek­triskajām īpašībām; kustības ātruma un saskares intensitātes; saskares laukuma; apkārtējā gaisa mitruma. Elektrizācija var pieda­līties un paši elektrizēties arī vadītāji un pusvadītāji. Koloīdās sis­tēmās lādiņu nesēji ir molekulu grupas vai dispersās daļiņas. Kvan­titatīvi elektrizāciju novērtē ar elektrisko lādiņu daudzumu, kas pārgājis no viena ķermeņa uz otru to saskares laikā. Ja lādiņi sa­dalīti pa ķermeņa virsmu (raksturīgi cietiem dielektriķiem), elek­trizāciju novērtē ar *virsmas lādiņa blīvumu,* C/m2,

*σs = q/s*, (9.7)

kur *q* — lādiņš, C;

*s* — virsmas laukums, m2.

Gadījumos, kad lādiņš sadalīts pa visu dielektriķa masu (bir­stošas vielas un šķidrie dielektriķi), elektrizāciju raksturo ar *til­puma lādiņa blīvumu,* C/m3,

*σv = q/V*, (9.8)

kur *V* — elektrizētās vielas tilpums, m3.

Dažās tehnoloģiskajās operācijās, kas saistītas ar tievu, garu izstrādājumu (diegi, lentes u. tml.) izgatavošanu, elektrizāciju ēr­tāk novērtēt ar *īpatnējo lādiņu uz garuma vienību,* C/m,

*σl = q/l.*  (9.9)

kur *l* — garums, m.

Nezemēti vadoši ķermeņi un dielektriķi elektrizētu priekšmetu elektriskajā laukā spēj elektrizēties elektriskās indukcijas ceļā.

*Lādēto ķermeņu potenciāls* var sasniegt vairākus desmitus kilovoltu, un to mēra ar statiskajiem voltmetriem, elektronu elektrometriem vai statiskās elektrības indikatoriem.

*Statiskas elektrības bīstamība* izpaužas vairākos aspektos:

1. *pieaug sprādzienu un ugunsgrēku izcelšanās iespēja*,jo lā­diņu radītajam elektriskajam laukam sasniedzot noteiktu intensi­tāti (atkarībā no lauka homogenitātes 4…30 kV/cm), notiek dzirksteļizlāde. Turklāt dzirksteles enerģija ir pietiekama, lai at­tiecīgā vidē izraisītu uzliesmošanu vai sprādzienu;
2. *rodas tehnoloģiski traucējumi.* Ja uz dielektriķa virsmas lādiņiem ir noteikts blīvums, sākas vienādi lādētu elementu (piemē­ram, sintētisko diegu) savstarpēja atgrūšanās vai dažādi lādētu elementu pievilkšanās (piemēram, birstošu materiālu «pielipšana» iekārtas sienām);
3. notiek statiskās elektrības *fizioloģiska iedarbe uz cilvēka or­ganismu.* To izraisa maza (daži desmiti μA), nepārtraukta strāva, ko cilvēks gan nejūt (jutības slieksnis 5…7 mA), bet, kas, iedar­bojoties ilgstoši, tomēr ir kaitīga organismam. Bez tam cilvēkam ir kaitīga intensīva (daži desmiti vai pat daži kV/m) elektrisko lauku ietekme. Iedarbes bīstamība palielinās, pieaugot lauka intensitātei un iedarbības laikam;
4. notiek statiskās elektrības *psiholoģiska iedarbe uz cilvēku.* Dzirksteļizlāde starp uzlādēto objektu un cilvēku izraisa izbīli, ko pavada reflektoriskas nekoordinētas kustības. Tās var kļūt par cēloni nelaimes gadījumam.

**9.7.2. AIZSARDZĪBA PRET STATISKO ELEKTRĪBU**.

Visus aizsardzības pa­sākumus nosacīti var iedalīt trīs grupās:

1) pasākumi, kas *novērš lādiņu uzkrāšanos uz objektiem.* Šādi pasākumi ir

*a*) *zemēšana.* Jāzemē visas metāla un vadošas nemetāla iekār­tas neatkarīgi no pārējiem pret statiskās elektrības iedarbi vērstiem aizsargpasākumiem. Nemetāla iekārtas uzskata par zemētām, ja jebkura to punkta zemējumpretestība *R'Z* ≤107Ω.Metāla daļu ze­mēšanai jāizmanto zemējumietaises ar R'Z ≤ l00 Ω. Efektīvu lādiņa novadīšanu no cilvēka panāk, valkājot *antistatiskus apavus,* t. i., tā­dus apavus, kuriem noplūdes pretestība nepārsniedz 104...107 Ω (protams, ja grīdai ir pietiekama vadītspēja);

*b*) *virsmas un tilpuma vadītspējas palielināšana dielektriķiem.* Ar dielektriķa vadītspēju šeit domāta spēja novadīt statiskās elektrī­bas lādiņus. To panāk,

* palielinot relatīvo gaisa mitrumu līdz 65…75%; mitruma plē­vīte uz virsmas ir vājš elektrolīts un palielina virsmas vadītspēju;
* apstrādājot virsmas ķīmiski ar skābēm vai citām vielām vai vielu maisījumiem;
* pārklājot virsmas ar plānu (līdz 1 μm) metāla, oglekļa vai cita labi vadoša materiāla kārtiņu;
* pārklājot dielektriķus ar t. s. antistatiskām vielām, pie kurām pieder daudzatomu spirti (glikols, glicerīns, sorbīts), neorganiskie sāļi (kalcija, litija un magnija hlorīdi) un daži citi speciāli savie­nojumi. Ar šīm vielām pārklāj aizsargājamā materiāla virsmu (tek­stilrūpniecībā) vai piejauc aizsargājamai vielai (piemēram, degamiem dielektriskiem šķidrumiem);
* piejaucot pašam dielektriķim elektrovadošas pildvielas (alumī­nija pūderi, grafītu u. c);

1. *pasākumi, kas nav vērsti pret lādiņu veidošanos un uzkrāšanos, bet tikai pret to nevēlamo iedarbi.* Šajā grupā galvenie ir dažāda tipa (indukcijas, augstsprieguma, rūpnieciskās frekvences, augstfrekvences, radioaktīvie, aerodinamiskie, kombinētie) *neitralizatori*. Statiskās elektrības lādiņu neitralizēšana notiek, laižot uz elektrizēto objektu vērstu jonizēta gaisa pūsmu. Gaisa jonizā­ciju panāk ar spēcīgu elektrisko lauku vai radioaktīvo starojumu. Neitralizatora darbība izpaužas tā, ka aizsargājamā objekta lādiņi piesaista pretējās polaritātes jonus no jonizētā gaisa pūsmas un tiek neitralizēti;
2. *tehnoloģiskie pasākumi,* kas samazina statiskās elektrības ne­vēlamo iedarbi, pilnveidojot vai koriģējot tehnoloģisko procesu: sa­mazina elektrizācijai pakļauto vielu kustības ātrumu; izvēlas opti­mālus kontaktpārus (piemēram, tekstilrūpniecībā jauc šķiedras, kas elektrizējas ar pretējas polaritātes lādiņiem) u. c.

**10. NODAĻA**

**ELEKTROIEKĀRTU ZEMĒŠANA**

**10.1. ZEMĒŠANA**

Ar jēdzienu *zemēšana* plašākā nozīmē saprot dažādu elektro­iekārtu metāla daļu savienošanu ar zemi. Pēc funkcionālās nozī­mes visus zemējumus iedala

1. *darba zemējumos* (10.1. att.), kuru kopīgā iezīme ir tā, ka tie nepieciešami attiecīgo aparātu (transformatoru, spriegummaiņu, izlādņu u.c.) un elektroiekārtu normālai darbībai dažādos tīkla režīmos (bet ne aizsargzemējums);

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

10.1. att. Elektroiekārtas zemētos elektriskajos tīklos: *a* – trīsfāžu tīkls ar cieši zemēto neitrāli;

*b* – vienfāzes tīklā ar cieši zemēto barošanas avota (transformatora) izeju; *QF*1 – automātiskais slēdzis; *QS* – slēdzis atvienotājs

1. *aizsargzemējumos*, kurus izveido, lai apkalpojošo personālu aizsargātu pret bīstamu pieskarspriegumu un soļa spriegumu (10.2. att.). Šajā nolūkā ar zemi savieno visas tās elektroiekārtu metāla daļas, kas var nokļūt zem sprieguma, bojājoties izolācijai.

|  |  |
| --- | --- |
|  | 10.2. att. Aizsargzemējums. (*QF* — automātiskais slēdzis; *FU* – drošinātājs) |

3) zemētas neitrāles tīklos ar spriegumu līdz 1000 V zemējumietaisēm jābūt savienotām ar nullvadu, bet tam savukārt — ar transformatora vai ģeneratora neitrāli lai aizsargātu personālu, ja notiek strāvu vadošas daļas savienojums ar korpusu. Tad šādu zemēšanu sauc par *nullēšanu* (10.3. att.).

Ja notiek īssavienojums uz elektroiekārtu korpusu, tad parādās īsslēguma strāvas *Ik* ķēde un aizsardzības aparatūra atslēdz elektroiekārtu no tīkla.

Izolētas neitrāles tīklos lieto tikai zemēšanu.

Rekomendē dažāda sprieguma un nozīmes zemējumietaises apvienot *vienā kopīgā sistēmā*, lai dažos tīkla režīmos nerastos potenciālu starpība starp atsevišķiem zemējumiem. Turklāt apvienotās zemējumietaises pretestībai jāapmierina tās iekārtas pra­sības, kurai pieļaujamā zemējumpretestība ir vismazākā.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

10.3. att. Elektroiekārtu nullēšana: *a* - trīsfāžu elektriskajā tīklā ar cieši zemēto neitrāli; *b* - vienfāzes tīklā ar cieši zemēto transformatora izeju; *DN* — darba nullvads; *AN* — aizsardzības nullvads; *IК* — īsslēguma strāva.

**10.2. ZEMEŠANAS VEIDI**

Zemsprieguma tīklus izveido vai nu ar cieši zemētu, vai izolētu neitrāli. Cieši zemētas neitrāles zemsprieguma tīkliem salīdzinājumā ar citiem tehniski realizējamiem tīkla ierīkošanas variantiem eko­nomiski izdevīgākā ir četrvadu sistēma, kuras lietošanas gadījumā neizvirzās sevišķi augstas prasības attiecībā uz zemējuma kontūriem. Pēc šīs sistēmas izveidotiem zemsprieguma tīkliem ir pieņemts vienlaikus uzrādīt tīkla nominālo un fāzes spriegumu, bet izolētas neitrāles zemsprieguma tīkliem — tikai nominālo jeb starpfāžu spriegumu. Tā, piemēram, apzīmējums 380/220 V bez spriegumu vērtībām norāda arī to, ka neitrāle ir zemēta un lietota četrvadu sistēma. Lielākajai zemsprieguma tīklu daļai ir 380/220 V spriegumu sistēma. Tīkla sprieguma apzīmējums 380 V norāda, ka tā neitrāle ir izolēta. Sastopami atsevišķi šādu tīklu eksperimentāli lietošanas gadījumi rūpnīcās. Ar izolētu neitrāli saskaņā ar EIN izbūvē 660 V sprieguma tīklus. Tas pats attiecas uz nākamās sprieguma pakāpes 1140 V tīkliem. Tīkliem ar 3, 6, 10, 20 un 35 kV spriegumu lieto izolētas vai kompensētas neitrāles režīmu. 110 kV un augstāka sprie­guma tīklus ierīko ar zemētu neitrāli. Atsevišķos rajonos ar tādu grunti, kurā praktiski nevar ierīkot zemējumu kontūrus , 110 kV sprieguma tiklus izveido ar izolētu neitrāli. Bez tam jāatzīmē, ka daļai no transformatoriem neitrāli neiezemē, šādi var samazināt vienfāzes īsslēguma strāvas līdz trīsfāžu īsslēguma strāvu līmenim.

Kā zināms, simetriskā trīsfāžu sistēmā neitrāles izveidojums nekādi neietekmē sistēmas režīmu. Neitrāles dažādu režīmu īpat­nības izpaužas izolācijas bojājumu gadījumos. Vienkārša starpfāžu izolācijas bojājuma rezultātā izveidojies tīkla režīms nav atkarīgs no neitrāles izveidojuma. Citādi tas ir, ja bojāta izolācija starp fāzi un zemi. Tādā gadījumā rodas vienfāzes zemesslēgums. Analizējot zemesslēguma procesus, var izvēlēties labāku tīkla neitrāles režīmu.

Ņemot vērā to, ka kopējā elektroietaise tiek izmantota dažādos veidos (apgaismojumam vai iekārtu darbināšanai), un lai nepieļautu gadījumus, ka pēc strāvas noplūdes kādā iekārtā relatīvi viegli izietu no ierindas visa sistēma, kopējā elektroinstalācija tiek sadalīta vairākās atsevišķās līnijās, kuras tiek aizsargātas ar attiecīga jutīguma diferenciālslēdzi, galveno strāvas avotu nodrošinot ar mazāka jutīguma diferenciālslēdzi.

**Zemēšanas veidi.** Lietotajiem apzīmējumiem ir šāda nozīme:

**Pirmais burts:** elektrosistēmas un zemes saistība:

**T** = viena punkta tiešs savienojums ar zemi;

**I** = visas spriegumam pieslēgtās daļas izolētas no zemes vai viens punkts savienots ar zemi caur pretestību.

**Otrais burts:**

**T** = atklātu strāvvadošu daļu tiešs elektrisks savienojums ar zemi neatkarīgi no jebkura elektrosistēmas punkta zemēšanas;

**N** = atklātu strāvvadošu daļu tiešs elektrisks savienojums ar elektrosistēmas zemēto punktu (maiņstrāvas sistēmās zemētais punkts parasti ir neitrālpunkts vai, ja neitrālpunkts nav pieejams, fāzes vadītājs).

**Pārējie burti** (ja tādi ir): Neitrāles un aizsargājošo vadītāju izveidojums:

**S** = aizsargājošo funkciju nodrošina no neitrāles vai no zemēta spriegumaktīva vadītāja (maiņstrāvas sistēmās — no zemēta fāzes vadītāja) atsevišķs vadītājs;

**C** = neitrāles un aizsargājošās funkcijas nodrošina viens vadītājs (PEN vadītājs).

**PEN** vadītājs ir zemēts vadītājs, kas veic gan aizsargvadītāja, gan neitrāles vadītā­ja funkcijas.

**TT sistēmai** ir viens tieši zemēts punkts, un ietaises atklātās strāvvadošās daļas ir sa­vienotas ar zemētājiem elektriski neatkarīgi no elektrosistēmas zemētājiem (skat. 10.4. att.).

Šajā gadījumā izolācijas starp vadu un zemi bojājums rada vienfāzes īsslēgumu, kura strāvas pārsniedz (parasti ievērojami) normāla režīma strāvas. Lai pasargātu elektroiekārtu no īsslēguma strāvas termiskās iedar­bības, līniju nepieciešams ātri, resp. automātiski atslēgt. Tā kā neit­rāles potenciāls praktiski sakrīt ar zemes potenciālu, tad spriegums īsslēguma gadījumā izmainās maz un nesasniedz izolācijai bīstamas vērtības.

|  |
| --- |
|  |

10.4. att. Elektriskais tīkls ar zemēšanas sistēmu TT: 1 – darba zemējums;

2 – elektroiekārtas korpuss; 3 – aizsargzemējums.

Pirmā aizsargājamo spriegumaktīvo daļu izolācijas bojājuma parādīšanās izraisa:

• bojājuma īsslēguma strāvu, kas plūst uz zemi;

• bojājuma spriegumu starp strāvu vadošu daļu un zemi, kas var nodarīt kaitēju­mu personām, kas pieskartos masai.

Parasti šis spriegums var būt bīstams, ja nav atslēgšanas iekārtas, kas ierobežo tā iedarbības ilgumu.

*Diferenciālslēdzi (atlikumstrāvas aizsardzības ierīces)* ir automātiskas atslēgšanas ierīces, kas ir jutīgas pret strāvas noplūdēm (ID) un nejūtīgas normālas darbības apstākļos. Tas nozīmē, ka šie diferenciālslēdzi atslēdz ietaisi vienīgi tajos gadījumos, ja to kontrolētajās ķēdēs cirkulē noplūdes strāvas:

ID > IΔN,

kur IΔN ir diferenciālslēdža jutīguma nominālā vērtība.

*Atslēgšanas iekārtas, kas reaģē uz bojājuma spriegumu (shēma TT)*

Sājā gadījumā aizsardzība tiek panākta ar sprieguma releju, kas nepieļauj pārmērī­gi augstu kontakta spriegumu tajā iekārtas zonā, kas neveido kontūra aktīvo daļu. Parādoties bīstamajam spriegumam, šī ierīce atslēdz strāvu visos aktīvajos vadītājos. Iekārta iedarbojas brīdī, kad bojātajā iekārtā spriegums sasniedz maksimālo līmeni — 50 V sausās vai 24 V mitrās vietās. Aktīvo vadītāju atslēgšanai jānotiek piecu sekunžu laikā.

**TN elektrosistēmām** ir viens tieši zemēts punkts, un ietaises atklātās strāvvadošās daļas ir savienotas ar šo punktu ar aizsargājošiem vadītājiem. Atkarībā no neitrāles un aizsargājošo vadītāju izveidojuma izšķir šādus trīs TN sistēmu veidus:

• TN-S sistēma — atsevišķs aizsargājošais vadītājs visā sistēmā (skat. 10.5. att.);

• TN-C sistēma — neitrāles un aizsargājošās funkcijas ir apvienotas vienā vadītājā visā sistēmā (skat. 10.6. att.).

• TN-C-S sistēma — neitrāles un aizsargājošās funkcijas ir apvienotas vienā vadītājā kādā sistēmas daļā (skat. 10.7. att.);

Šajā sistēmā tiešie izolācijas bojājumi transformējas par īsslēgumiem starp fāzi un nulles vadu, izraisot ātru atslēgšanas ierīču nostrādi. Rodoties pirmajam tiešajam bojājumam, aizsardzībai ir jānostrādā ātrāk nekā piecu sekunžu laikā.

Iekārta saņem strāvu no transformatora, kuru neizmanto citi patērētāji un kas nebaro citas shēmā TN neietilpstošas ķēdes. Aizsardzības vadītājam obligāti jābūt savienotam ar visām nozīmīgajām strāvu vadošām daļām, konstrukcijām, caurulēm u.c.

|  |
| --- |
|  |

10.5. att. Elektriskais tīkls ar zemēšanas sistēmu TN-S: tīkls ar atsevišķu darba neitrāles vadītāju (N) un aizsardzības vadītāju (PE) visā sistēmā; 1 – darba zemējums barojošam avotam; 2 – elektroiekārtu korpuss; FU – drošinātājs; A1, A2 – elektroiekārtas.

|  |
| --- |
| 10.6. att. Elektriskais tīkls ar zemēšanas sistēmu TN-C (atsevišķs zemēts spriegumam pieslēgts vadītājs un aizsargājošs vadītājs viscaur visā sistēmā): 1 – darba zemējums barojoša avota; 2 – elektroiekārtu korpuss; FU – drošinātājs; A1, A2 – elektroiekārtas. |
|  |

10.7. att. Elektriskais tīkls ar zemēšanas sistēmu TN-C-S sākumā darba neitrāles un neitrāles aizsardzības vadītājs apvienoti: 1 – darba zemējums barojoša avota (transformators, ģenerators); 2 – elektroiekārtu korpuss (atklātas strāvu vadošas daļas); FU – drošinātāji; A1, A2 – elektroiekārtas.

TN-C un TN-C-S sistēmas var izmantot vienā tīklā. TN sistēma nav savienojama vienā tīklā ar shēmām TT vai IT.

**IT shēma.**Izolētas neitrāles gadījumā vienfāzes zemesslēgums sakarā ar vadu kapacitātēm attiecībā pret zemi iz­raisa bojājuma strāvas, kuras pašas par sevi ne vienmēr ir bīsta­mas, bet rada ievērojamu nebojāto fāžu spriegumu paaugstināšanos. Tas jāņem vērā, izvēloties izolāciju starp fāzi un zemi.

Šī sistēma ir piemērota jebkuras iekārtas aizsardzībai, ja vien tai ir atsevišķs transformators un ja tā nepārtrauc darbību pēc pirmā bojājuma rašanās.

Ja nulles vads ir izolēts no zemes, ietaisē, parādoties pirmajam bojāju­mam, rodas neliela bojājuma strāva, kas nespēj izraisīt bīstamu bojājuma spriegumu (skat. 10.8. att.).

Ja pirmais bojājums netiek novērsts un vienlaicīgi parādās otrs bojājums, izveidojas īsslēgums, kas iedarbina atslēgšanas ierīces un automātiski atslēdz bojājuma skartos kontūrus.

Kontroles iekārtai ir automātiski jānorāda uz pirmā bojājuma rašanos iekārtā. Iekārtu baro transformators, kuru neizmanto citi lietotāji. Aizsardzības vadītājam obligāti jābūt savienotam ar visām nozīmīgajām metāla masām, konstrukcijām, caurulēm u.c.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |

10.8. att. Aizsardzības shēma IT: *а* — izolēta no zemes; *b* — ar zemēšanu caur lielo pretestību (reaktors L)

Nulles vads visos gadījumos ir jāuzskata par spriegumaktīvu vadītāju.

IT sistēma nav savienojama vienā tīklā ar shēmu TT vai TN.

Kompensētu neitrāli lieto, lai novērstu elektriska loka deg­šanas iespēju bojājuma vietā. Zemesslēguma kapacitīvo strāvu kom­pensēšanai bojājuma vietā starp neitrāli un zemēšanas kontūru ieslēdz loka dzēšanas spoli (sk. 10.8. att. *b*). Loka degšana nav pieļaujama ne tikai tā termiskās iedarbības dēļ, bet galvenokārt pārspriegumu dēļ, kuri rodas, lokam atkārtoti aizdego­ties un dziestot. Izvēloties spoles induktivitāti tā, ka zemesslēguma gadījumā, strāva bojājuma vietā neplūst un loka degša­nas iespēja ir novērsta. Praksē ir pieļaujams un dažkārt pat vēlams, lai loka dzēšanas spole zemesslēguma strāvu pilnīgi nekompensētu. Saskaņā ar EIN kapacitīvās strāvas kompensē, ja tās ir lielākas par 30, 20, 15 un 10 A attiecīgi 6, 10, 20 kV sprieguma kabeļu un gaisvadu līnijas ar koka balstiem un visos 35 kV sprieguma tīklos. Ja tīklu veido līnijas ar metāla vai dzelzsbetona balstiem, tad kapaci­tīvo strāvu kompensācija nepieciešama, sākot ar 10 A, neatkarīgi no tīkla sprieguma, bet ģeneratoriem, kuri darbojas blokā ar transfor­matoru, — sākot ar 5 A. Visbiežāk kompensācija vajadzīga kabeļu, kā arī 35 kV sprieguma gaisvadu līniju tīklos. Nekompensētām kabeļu līnijām pieļaujamais kopgarums ir 20... 80, 10 . . . 40, 3,7 .. . 7,5 un 1,9 ... 2,7 km, ja to spriegums attiecīgi ir 6, 10, 20 un 35 kV.

Pareizā darbības režīmā visas aizsardzības sistēmas nodrošina līdzīgu un pietieka­mu drošības pakāpi jebkurā riska situācijā. Tomēr attiecībā uz dažām sistēmām pastāv augsta varbūtība, ka to darbība var tikt traucēta vai pārtraukta avārijas, nepareizas iekārtas vai drošības elementu bloķēšanas rezultātā, tāpēc augsta riska situācijās šādu sistēmu izmantošana nav pieļaujama.

Katrā konkrētā gadījumā atbilstoši situācijai ir jāizmanto kāda no minētajām aizsardzības sistēmām. Zemākas uzticamības sistēmu izmantošana pieļaujama vienīgi tehniski nenovēršamu nepieciešamību gadījumos, piemēram: ja patērētāja jauda ir ļoti liela. Vienlaikus patērētājiem ir jābūt atbilstoši nodrošinātiem pret cietu vielu daļiņu un ūdens iekļūšanu tajos.

**10.3. IZPLŪDES STRĀVA UN TĀS CEĻI.**

Par izplūdes strāvu *IZ* sauc strāvu, kas izplūst no zemētāja (atsevišķa elektroda vai sarežģītas zemētājsistēmas) zemē. 10.9. attēlā parādīta strāvas izplūde zemē starp diviem vertikāliem elektrodiem *A* un *D*,kas novietoti vairāk kā 40 m attālumā viens no otra un kuriem pielikts spriegums *UAD*.Zeme šajā strāvas *Iz* kontūrā ir telpisks vadītājs, kurā strāva no elektrodiem izplūst visos virzienos gan pa zemes virsmu, gan dziļumā. Zemē­tāja tuvumā strāvas blīvums un līdz ar to sprieguma kritums uz garuma vienību ir vislielākais; apmēram 20 m attālumā no elektroda strāva ir sadalījusies tik lielā zemes tilpumā, ka šie lielumi tiecas uz nulli. Tāpēc par *strāvas izplūdes zonu zemē* sauc tikai iecirkņus ar rādiusiem AB un CD, un strāvas izplūdes pretestību zemē veido ne viss iecirknis starp elektrodiem, bet tikai minētās zonas. Iecirkni starp B un C sauc par *nulles potenciāla zonu*. Savukārt potenciālu starpību starp šo zonu un elektrodu sauc par *zemētājspriegumu* *Uz*.

Pēc Oma likuma atrod zemētāja strāvas izplūdes pretestību jeb *zemētājpretestību*

*Rz =Uz /Iz*. (10.1)

Katram zemētājam atkarībā no izplūdes strāvas frontes stāvuma iz­šķir *stacionāro zemētājpretestību Rz,* kas raksturīga 50 Hz maiņ­strāvai, un *impulspretestību Zimp* zibensizlādes strāvai. Impulspretestības vērtību ietekmē zemējumtīkla induktivitāte un kapacitāte. Attiecību

*kimp = Zimp / Rz* (10.2)

sauc par *impulskoeficientu.*

|  |
| --- |
| 10.9. att. Strāvas izplūde zemē: *a* — elektrodu izvietojums, *b* — potenciālu diagramma,  c — strāvas izplūde starp elektrodiem zemē. |

**10.4. PIESKARSPRIEGUMS UN SOĻA SPRIEGUMS.**

Zemēšanai pakļautās iekārtas (1 un 2 10.10. attēlā *a*)ar zemējumvadu pievienotas zemētājam, un, bojājoties izolācijai kādā no šīm iekārtām, tās iegūst ze­mētāja vai punkta *A* potenciālu. Maksimālo spriegumu starp zemēto iekārtu un to tālāko zemes vai grīdas punktu (*l*110.10. att. *a*),kurā stāvot cilvēks var pieskarties zemētajai iekārtai, sauc par *pie­skar spriegumu:*

*Up = Uz - Ul1.*  (10.3)

Attiecību

*kp = Up/Uz* (10.4)

sauc par *pieskar sprieguma koeficientu.*

|  |
| --- |
| 10.10. att. Soļa sprieguma un pieskar sprieguma grafiska interpretācija:  *a —* potenciālu diagramma, *b* — aizvietošanas shēma. |

Saskaroties cilvēka rokai ar zemēto iekārtu, caur cilvēka ķermeni pa ķēdi roka—kājas (10.10. att. *b*) sāk plūst strāva

 (10.5)

kur *Rc* — cilvēka pretestība; ķēdē roka—kājas, strāvai iedarbojoties īslaicīgi, to var pieņemt 1000 Ω;

*Rpēd* — strāvas iz­plūdes pretestība no vienas cilvēka pēdas.

Pieņemot pēdas laukumu vienādu ar disku, kura rādiuss ir 8 cm, *Rpēd* ≈ 3*ρ* (*ρ* — grunts īpat­nējā pretestība).

*Cilvēkam pieliktais spriegums* (cilvēkspriegums)

 (10.6)

Tā kā dažādām gruntīm īpatnējā pretestība mainās no 8 Ω∙m līdz 4000 Ω∙m, no izteiksmes (10.6) var secināt, ka cilvēkspriegums var būt ievērojami mazāks par pieskarspriegumu, jo grunts virsē­jais slānis ierobežo strāvu caur cilvēku (grunts īpatnējā pretestība raksturo zemes elektrofizikālās īpašības. Par tās vienību pieņemta attiecīgās grunts kuba, kura šķautnes garums ir 1 m, pre­testība: *ρ = Rs/l*,Ω∙m). No 10.10. attēla *a* savukārt izriet, ka pieskarspriegums savu maksimālo vērtību *(UP = UZ*) sasniedz tad, ja cilvēks pieskaras tādai uz izolēta pamata novietotai un iezemētai iekārtai ar bojātu izolāciju, kas atrodas nulles poten­ciāla zonā.

Taču cilvēks var nokļūt zem sprieguma, arī nepieskaroties zemētām elektroiekārtu daļām. Pārvietojoties zemesslēguma strāvas izplūdes zonā, katra kājas pēda pielikta zemes virsmas punktam ar citu potenciālu (10.10. att. *a*).Cilvēka soļa garumu pieņem *lS* = 0,8 m, bet potenciālu starpību starp labo un kreiso kāju sauc par *soļa spriegumu.* Attālinoties no zemētāja, soļa spriegums samazi­nās, un šo samazināšanos pieņemts raksturot ar *soļa sprieguma koeficientu*

*kS = US / UZ .*  (10.7)

**10.5. POTENCIĀLU IZLĪDZINĀŠANA**.

Soļa spriegumu un pieskarsprie­gumu un līdz ar to strāvu caur cilvēka ķermeni var ievērojami sa­mazināt, ja izlīdzina potenciālus zemējamo iekārtu tuvumā. Poten­ciālu izlīdzināšanu panāk,

1. *novietojot zemējamās elektroiekārtas uz vadošām grīdām* un nodrošinot labu elektrisko saiti starp iekārtu un grīdu. Tad cilvē­kam pieskaršanās laikā ir aptuveni tāds pats potenciāls kā zemētajai iekārtai. Šo paņēmienu biežāk lieto ietaisēs ar spriegumu *U* ≤ 1000 V.

2. *ierīkojot kombinētus zemētājus,* kas sastāv no savstarpēji savienotas vertikālu un horizontālu elektrodu sistēmas (sk. 10.11. att. un 10.12. att.).Atsevišķo elektrodu strāvas izplūdes zonas pārklā­jas un potenciāli summējas. Šādā veidā pieskarspriegums ievērojami samazinās (*Up*l 10.11. att.) vai pat kļūst vienāds ar nulli (10.12. att.).

Lauksaimniecībā, lai izlīdzinātu potenciālus lopu stāvvietās, be­tona grīdās ievieto tērauda stieples vai sloksnes, kuras savieno ar tuvumā esošo elektroiekārtu korpusiem un cauruļvadiem.

**10.6. ZEMĒTĀJIETAISES STRUKTŪRA UN**

**TAS ELEMENTU IZVEIDOJUMS.**

Ar *zemējumietaisi* saprot zemētāju, zemētājvadu, zemējummaģistrāļu un zemējumvadu kopu (10.13. att. *a):*

1. *zemētājus* nosacīti var iedalīt divas *lielās grupās:* dabiskajos unmākslīgajos zemētājos (10.13. att.). Ierīkojot zemējumietaisi, pirmām kārtām jācenšas izmantot visus *dabiskos zemētājus,* pie kuriem pieder da­žādas metālkonstrukcijas, kabeļu svina apvalki, cauruļvadi (izņe­mot tādus, kuros plūst sprāgstamas vai degamas vielas) u. tml. Ja ar dabiskajiem zemētājiem neizdodas panākt normatīvos noteikto zemējumpretestību, tad jāierīko *mākslīgie zemētāji,* to ierīkošanai izmanto:

|  |  |
| --- | --- |
|  | 10.11. att. Sola sprieguma un pieskarsprieguma samazināšana, izlīdzinot potenciālus. |

|  |  |
| --- | --- |
|  | 10.12. att. Sola sprieguma un pieskarsprieguma samazināšana, izlīdzinot potenciālus kontūrā: *a* – plāns; *b* – potenciāla līknes forma. |

* + *vertikālos elektrodus* — 4,5...5 m garus 10…16 mm diametra apaļtērauda stieņus vai 2,5…3 m garus leņķtērauda stieņus ar vis­maz 4 mm biezām sieniņām. Pēdējā laikā sakara ar to, ka uzlabo­jusies elektrodu dzīšanas tehnika, izmanto arī garākus elektrodus, tādējādi panākot saiti ar dziļākiem zemes slāņiem. Šiem slāņiem ir mazāka īpatnējā

pretestība nekā augšējiem slāņiem, tā rezultāta iespējams to pašu zemētājpretestību nodrošināt ar mazāku elektrodu kopgarumu un iegūt metāla ekonomiju. Lai elektrodu izplūdes pre­testība būtu mazāk atkarīga no apkārtējās vides temperatūras iz­maiņām, to augšdaļai jāatrodas vismaz 0,6...0,7 m zem zemes virsmas, resp., tie jādzen tranšejā, kā tas paradīts 10.13. attēla *a*;

* *horizontālos elektrodus,* ko lieto gan vertikālo elektrodu saistī­šanai, gan arī kā patstāvīgus elek­trodus (sk. horizontālos šķērselektrodus 10un horizontālos garenelektrodus 12 10.13. attēlā *d*, 10.14. att.).Te jāpiebilst, ka par garenelektrodiem brīvgaisa sadalēs sauc tos horizontālos elektrodus, kas izvietoti gar aparatūras rindām.

Bieži speciālajā literatūrā visus mākslīgos zemētājus pieņemts dalīt vienkāršajos un kombinētajos zemētājos. Pie *vienkāršajiem zemētājiem* pieskaita vienā vai divās rindās izvietotus horizontālos vai vertikālos elektrodus, nelielus kontūrus bez horizontālajiem šķērselektrodiem un garenelektrodiem, padziļinātos vertikālos un pa­dziļinātos horizontālos zemētājus u. tml. Šādus zemētājus parasti ierīko zemsprieguma sadalēs un līdz 35 kV augstsprieguma sadalēs, kur nepastāv tik stingras prasības potenciālu izlīdzināšanai un pie­ļaujama lielāka zemējumpretestība. Pie vienkāršajiem zemētājiem pieskaitāmi ari zemētāji, ko gaisvadu līnijās ierīko atkārtoto zemējumu izveidošanai.

* *kombinētos* (sarežģītos) zemētājus ierīko 110 kV un augstāka sprieguma sadalēs, jo tur ir grūtāka potenciālu izlīdzināšana un ze­mējumpretestība nedrīkst būt lielāka par 0,5 Ω (10.13. att. *d*);

1. *zemētājvadi* savieno zemētāju ar zemējummaģistrāli 4 (10.13. att. *a*)vismaz divās dažādās vietās. Gruntī novie­tojamie zemētājvadi jāizgatavo no apaļtērauda;

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | ***b***  ***c*** |
|  | 10.13. att. Zemējumietaises kon­struktīvais izveidojums: *a* — uzbūves shēma un galvenie elementi, *b* un *c* — vienkārša zemētāja izveidojums attiecīgi atse­višķi stāvošai apakšstacijai un iebū­vētai apakšstacijai, *d —* kombinēts zemētājs brīvgaisa sadalei; 1 — zemējummaģistrāle, 2— zemējumvads, 3 *—* zemējamais objekts, 4 — zemētājvads, 5 — tērauda sloksne vertikālo elektrodu savienošanai, 6 *—* tran­šeja, 7 — vertikālais elektrods, 8 *—* atsevišķi stāvoša apakšstacija, 9— iebūvēta apakšstacija, 10 — horizon­tālie šķērselektrodi, 11 — augstsprie­guma aparāti, 12 — horizontālie garenelektrodi, 13 *—* spēka transfor­matori, 14 *—* žogs. | |
|  | | |

10.14. att. Moduļa sistēmas mākslīgie zemētāji: 1,2 – spailes; 3 – belzenis; 4 – pretkorozijas lente; 5,6 – uzliktnis un ārmala stieņu iedzīšanai; 7 – stieni; 8 – stieņa slēģa (slēdzeņa) caurums; 9 – stieņa slēdzeņa rēdze; 10 – plakana metāliskā lente stieņu horizontālam savienojumam.

3) *zemējummaģistrāles* ierīko, lai būtu ērtāka zemējumtīkla iz­veidošana. Zemējummaģistrāle ir aizsargzemējuma vads, no kura nozarojas vismaz divi zemējumvadi. Visai bieži šādas maģistrāles izveido no 100…120 mm2 šķērsgriezuma plakantērauda kā ražoša­nas telpu ietverošu slēgtu kontūru (10.13. att. *b un c*);

4) *zemējumvads* (2 10.13. att. *a*) ir vads, kas savieno zemējamo objektu ar zemējummaģistrāli. Atkarībā no materiāla un izpildījuma ir limitēti minimāli pieļaujamie zemējumvadu šķērsgriezumi.

Nelielās vai šauri specializētās zemējumietaisēs var atsevišķi ne­pastāvēt visi minētie zemējumtīkla elementi. Tā, piemēram, atsevišķi stāvoša zibensnovedēja zemējumietaisē ir tikai divi elementi: zemētājs un zemētājvads, kas savieno zemētāju ar zibensuztvērēju.

**10.7. ZEMĒJUMIETAISĒM NOTEIKTIE NORATĪVIE LIELUMI.**

Zemējumietaisēm noteiktās normas ir visai daudzveidīgas un izriet no prasībām, kas jāapmierina darbzemējumiem un aizsargzemēju­miem (pieskarsprieguma ierobežošana, termiskā izturība, mehāniskā izturība u. c). Šīs normas attiecas gan uz zemējumietaises ierīko­šanu (gabarīti starp atsevišķām zemētāja daļām, kā arī no zemētāja līdz citiem konstruktīviem elementiem), gan uz zemējumietaises ma­teriāliem (profils, šķērsgriezums, stiprināšanas veids, krāsa), gan uz zemējumietaises pieļaujamo pretestību dažāda sprieguma un neit­rāles režīma tīklos.

Jāuzsver, ka *normē gan zemētājpretestību Rz, gan zemējumpretestību* (turpmāk apzīmēta ar *R'z),* kas ir zemētāja, zemējummaģistrāles, zemētājvadu un zemējumvadu pretestību summa. Ja lite­ratūrā ir runa tikai par zemētājpretestības normām, tad tas nozīmē, ka pārējie zemējumpretestības komponenti uzlūkoti par augstākas kārtas maziem lielumiem un nav ņemti vērā. Zemējumpretestība ir viens no galvenajiem zemējumietaises parametriem, tāpēc aplūkosim šīs pretestības normatīvos lielumus detalizētāk dažādām ietaisēm:

1. *efektīvi zemētas neitrāles elektroietaisēs* ar spriegumu virs 1000 V zemējumam jāapmierina viens no šādiem diviem nosacīju­miem:

*R'z* ≤ 0,5 Ω, (10.8)

*U'z* ≤ 10 kV, (10.8a)

kur *U'z* — zemējumietaises spriegums zemesslēguma strāvas izplū­des laikā. Šo laiku nosaka kā releju aizsardzības un jaudas slēdža atslēgšanas laiku summu.

Turklāt, ierīkojot zemējumietaisi pēc kritērija (10.8a), jāraugās, lai cilvēkspriegums nepārsniegtu 10.1. tabulā dotās vērtības;

10.1. tabula

**Pieļaujamā cilvēksprieguma atkarība no strāvas iedarbes ilguma**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Iedarbes ilgums, s | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,7 | 1,0 | 3,0 |
| Pieļaujamais cilvēkspriegums, V | 500 | 400 | 200 | 130 | 100 | 65 |

2. *izolētas neitrāles elektroietaises* ar spriegumu virs 1000 V zemējumpretestībai jāapmierina šādi divi nosacījumi:

Ω, (10.9)

*R’Z* ≤ 10 Ω, (10.9a)

kur *IZ* — vienfāzes zemesslēguma strāva izolētas neitrāles tīklā, A;

3. *izolētas neitrāles elektroietaisēs* ar spriegumu virs 1000 V, ja zemējumietaise *vienlaikus* tiek izmantota arī zemsprieguma iekārtu zemēšanai, zemējumpretestība jāizvēlas pēc nosacījuma

 (10.10)

vienlaikus to pārbaudot pēc nosacījumiem, ko tai izvirza zemsprie­guma tīkls (sk. izteiksmes (10.11), (10.12), (10.13));

4. *cieši zemētas neitrāles elektroietaises* ar spriegumu līdz 1000 V pieļaujamā zemējumietaises pretestība ir atkarīga no tīkla nominālā līnijas sprieguma *Ut,N*:

*R'Z  ≤* 2 Ω,ja *Ut,N* = 660 V,

*R'Z ≤* 4 Ω,ja *Ut,N =* 380V, (10.11)

*R'z ≤* 8 Ω,ja *Ut,N* = 220 V.

Turklāt tiešā ģeneratora vai transformatora neitrāles tuvumā ierī­koto zemētāju pretestībām jābūt šādām:

*RZ* ≤ l5 Ω, ja *Ut,N* = 660 V,

*RZ* ≤ 30 Ω, ja *Ut,N* = 380 V, (10.12)

*RZ* ≤ 60 Ω, ja *Ut,N* = 220 V.

Ja zemes īpatnējā pretestība *ρ* >100 Ω∙m, pieļaujams minētās pre­testību normas palielināt 0,01 *ρ* reizes, bet ne vairāk kā desmitkārtīgi (šeit un turpmāk ar īpatnējo pretestību jāsaprot zemes *ekvivalentā īpatnējā pretestība,* t. i., tāda viendabīgas grunts īpatnējā pretestība, kurā zemētājam ir tāda pati izplūdes pretestība kā reālajā neviendabīgajā gruntī). Gaisvadu līnijas nullvada zemējumpretestībai, ņemot vērā māk­slīgos un dabiskos zemētājus, ko ierīko līnijas vai tās nozarojumu (ja tie garāki par 200 m) galos, jābūt šādai:

*R'Z* ≤ 5 Ω, ja *Ut, N* = 660 V,

*R'Z*≤ 10 Ω, ja *Ut, N* = 380 V, (10.13)

*R'Z* ≤ 20 Ω, ja *Ut, N* = 220 V.

Turklāt katra atsevišķā atkārtotā zemētāja pretestība *RZ* nedrīkst būt lielāka par nosacījumos (10.12) noteikto;

5. *izolētas neitrāles elektroietaisēs ar spriegumu līdz 1000* V normē tikai zemējumpretestību (neatkarīgi no sprieguma):

*R'Z* ≤ 4 Ω*.*  (10.14)

Ja barojošā ģeneratora vai transformatora jauda S ≤ 100 kVA, pie­ļaujams zemējumpretestību palielināt:

*R'Z ≤* l0Ω*.*  (10.14a)

Darbzemējumiem pieļaujamā izplūdes pretestība parasti irlielāka par aizsargzemējumiem pieļaujamo.

**10.8. ZEMĒTĀJI UN ZEMĒŠANAS PIEVADI**

Visas elektroiekārtas metāliskās daļas, kuras izolācijas bojāšanās gadījumā var nokļūt zem sprieguma, jāzemē.

Jāzemē:

1) transformatoru, elektrodzinēju, darbu galdu un elek­trisko aparātu korpusi;

2) elektrisko aparātu piedziņas;

3) mērtransformatoru sekundārie tinumi;

4) vadības un aizsardzības paneļi;

5) sadales skapji;

6) apakšstaciju un sadaļu metāla konstrukcijas;

7) spēka un kontrolkabeļu metāliskās bruņas;

8) pārvietojamās elektroietaises un elektroinstrumenti u. c.

Nav jāzemē:

1) izolatoru kāši un piekararmatūra koka balstos;

2) iekārta, kas novietota uz sazemētām metāliskām kon­strukcijām;

3) releju un mērinstrumentu korpusi;

4) elektropatērētāji ar divkāršu izolāciju;

5) sadales ietaišu, skapju un paneļu durvis.

Izveidojot zemējumu, vispirms jāizmanto dabīgie zemētāji: ūdensvada vai cita veida caurules (izņemot deg­vielu caurules), metāla konstrukcijas, dzelzsbetona arma­tūra, kabeļu metāla apvalki (izņemot alumīniju) un citi dabiskie zemētāji. Ja zemējuma pretestība ar dabiskiem zemētājiem atbilst normām, mākslīgo zemējumu nebūvē. Elektroietaisēm ar dažādiem spriegumiem izveido vienu kopēju zemētāju. Šādā gadījumā zemējuma pretestībai jāatbilst tās elektroietaises prasībām, kuras zemējuma pre­testībai jābūt mazākai.

Ja dabisko zemētāju nav vai to zemējuma pretestība ne­atbilst normām, jāierīko mākslīgie zemētāji. Tie ir zemē iedzīti tērauda stieņi, tērauda leņķi un caurules vai hori­zontāli zemē novietoti tērauda stieņi vai lentas. Ņemot vērā zemētāju un zemēšanas pievadu mehānisko izturību, to minimālie izmēri doti 10.2., 10.3. un 10.4. tabulā. Zemē novie­totus zemētājus nedrīkst krāsot.

10.2. tabula

**Zemējumos lietojamo tēraudu minimālie izmēri**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Zemējuma materiāla veids** | **Slēgtas**  **ietaisēs** | **Brīvgaisa**  **ietaisēs** | **Zemē** |
| Apaļtērauda diametrs, mm | 5 | 6 | 10 (7.7. att. *b*) |
| Plakantērauda šķērsgriezums, mm2 | 24 | 48 | 48 (7.7. att. *a*) |
| biezums, mm | 3 | 4 | 4 (7.7. att. *a*) |
| Leņķa tērauda biezums, mm | 2 | 2,5 | 4 (7.7 att. *c*) |
| Tērauda caurules sieniņas biezums,  mm | 1,5 | 2,5 | 3,5 (7.7. att. *d*) |

Stieņa garumam jābūt ne mazākam par 1,5…2 m lai sasniegtu nesasalstoša zemes slāni.

|  |  |
| --- | --- |
| ***a b c d*** | 10.15. att. Zemējumos lietojamo tēraudu  minimālie izmēri |

10.3. tabula

**Zemējumos lietojamo materiālu tēraudu minimālie izmēri ar izvietojamu zemē**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Materiāls** | **Profila šķērsgriezums** | **Diametrs, mm** | **Šķērsgriezums, mm2** | **Sieniņas biezums, mm** |
| Tērauds melnais (parastais) | Apaļš: vertikāliem zemētajiem  horizontāliem zemētajiem  Taisnstūrains (plakantērauds) Leņķisks (leņķa tērauds) Cauruļveida | 16 10  —  —  32 | —  —  100 100  — | —  —  4 4  3,5 |
| Tērauds cinkotais | Apaļš: vertikāliem zemētajiem  horizontāliem zemētajiem  Taisnstūrains Cauruļveida | 12 10  —  25 | —  —  —  75 | —  —  3 2 |
| Varš | Apaļš  Taisnstūrains  Cauruļveida  Tauva daudzstiepļu\* | 12  —  20 1,8\* | —  50 —  35 | —  2 2  — |
| \* Katras stieples diametrs. | |  |  |  |

Tērauda zemēšanas pievadiem jābūt redzamiem. Kā ze­mējuma pievadus var izmantot visus dabīgos zemētājus un kabeļu alumīnija apvalkus. Kabeļu svina apvalku par zemēšanas pievadu nedrīkst izmantot.

10.4. tabula

**Vara un alumīnija zemēšanas pievadu minimālie šķērsgriezumi**

**elektroietaises ar spriegumu līdz 1000 V**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Zemēšanas pievada raksturojums | Vara vadi,  mm2 | Alumīnija vadi,  mm2 |
| Kaili vadi  Izolēti vadi  Kabeļu un daudzdzīslu vadu ze­mēšanas dzīslas kopīgā apvalka | 4  1,5  1 | 6  2,5  1,5 |

20 kV tīklos zemēšanas pievadi nedrīkst būt mazāki par 1/3 no fāzes vada šķērsgriezuma. Ja zemējuma pievads ir no cita materiāla nekā fāzes vads, tad tā vadītspēja ne­drīkst būt mazāka par 1/3 no fāzes vada vadītspējas.

Lielāku zemējuma alumīnija pievada šķērsgriezumu par 35 mm2 un tērauda — par 120 mm2 noteikumi neprasa.

Lai 0,4 kV gaisa vadu līnijas nullvads būtu mehāniski izturīgs, tā šķērsgriezums nedrīkst būt mazāks par gaisa vadu līnijām minimāli pieļaujamo šķērsgriezumu.

Zemējuma pievadi jāpievieno pie konstrukcijām, mašīnām un aparātiem ar drošiem skrūvju savienojumiem vai piemetinot.

Elektroietaisēs katrs zemējamais elements pie zemētāja vai zemēšanas maģistrāles jāpievieno atsevišķi. Vairākus zemējamos elementus saslēgt virkne nedrīkst.

**10.9. ZEMĒJUMS KA DROŠĪBU PAAUGSTINOŠS FAKTORS**

**DAŽĀDA NEITRĀLES REŽĪMA TĪKLOS.**

Elektrodrošības galvenā prasība ir nepieļaut caur cilvēka organismu tādu ilgstošu (1 s < t < 30 s) strāvu, kas izraisa muskuļu krampjus un neļauj cietušajam atbrīvoties no strāvu vado­šas daļas (24 mA līdzstrāva un 6 mA 50 Hz maiņstrāva), vai tādu īslaicīgu (t < l s) strāvu, kas izraisa sirds fibrilāciju. Īslaicīgi pieļaujama šāda maksimālā strāva caur cilvēka orga­nismu:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Strāvas iedarbes laiks, s | 1,0 | 0,7 | 0,5 | 0,2 | 0,1 |
| Pieļaujamā strāva, mA | 65 | 75 | 100 | 250 | 500 |

Zemējuma aizsargājošā iedarbība dažādos tīklos atkarība no to sprieguma un neitrāles režīma izpaužas dažādi:

1) tīklos ar izolētu neitrāli nelielās zemējumpretestības (ne vai­rāk par 10 Ω) un relatīvi mazās zemesslēguma strāvas (daži vai daži desmiti ampēru caur tikla kapacitīvajām un aktīvajām vadīt­spējām — 10.16. att. *a*) dēļ cilvēkspriegumu un līdz ar to caur cilvēku plūstošo strāvu IC viegli samazināt līdz pieļaujamām vērtībām;

2) tiklos ar spriegumu līdz 1000 V un cieši zemētu neitrāli zemējuma aizsargājošā darbība izpaužas tā (10.16. att. *b*):

* ka notiek bojātā posma automātiska un ātra atslēgšana (pārdeg drošinātājs vai atslēdzas automāts), tā rezultātā samazinās pieskar­šanās varbūtība zem sprieguma esošām elektroiekārtu metāla daļām, bet pieskaršanās gadījumā samazinās strāvas iedarbes laiks;
* ka vada spriegums pret zemi praktiski nevar pārsniegt fāzes spriegumu (izolētas neitrāles tīklos nebojātajās fāzēs tas paaugsti­nās √3 reizes);
* ka ar transformatora neitrāli savienotajam nullvadam pieslēgts daudz iekārtu un metālkonstrukciju, kas veicina potenciālu izlīdzi­nāšanos un līdz ar to arī pieskarsprieguma samazināšanos;

|  |  |
| --- | --- |
|  | ***b*** |

10.16. att. Elektroiekārtu zemēšana tīklā ar spriegumu līdz 1000 V un izolētu neitrāli (a)

un nullēšana tīklā ar cieši zemētu neitrāli (b).

* ka nullvada atkārtotie zemējumi gaisvadu līnijās samazina ko­pējo zemējumpretestību un, pārtrūkstot nullvadam, nodrošina ne­lielu pieskarspriegumu pie zemētajām elektroiekārtām;

3. efektīvi zemētas neitrāles tīklos ar spriegumu virs 1000 V zemējumu aizsargājošā darbība izpaužas ātrā zemesslēguma atslēgšanā un potenciālu izlīdzināšanā ar kombinētiem zemētājiem.

Ja ir sevišķi smagi ekspluatācijas apstākļi un zemesslēguma strā­vas izraisītais spriegums apdraud cilvēku dzīvību, paredz aizsargatslēgšanu, t. i., ierīko augstjutīgas un ātrdarbīgas aizsardzības, kas atslēdz bojāto posmu vai visu tīklu, ja noticis zemesslēgums vai izolācijas pretestība samazinājusies zem atļautās normas.

**10.10. ZEMĒTĀJU APRĒĶINS**

Projektējot jaunus vai rekonstruējot esošos zemējumus, jāizdara zemētāju aprēķins. Vispārīga gadījumā zemētāju aprēķins ir sarežģīts, jo jāievēro dažādi faktori, kas iespaido zemētāju pretestību. Zemētāju aprēķinu izdara šādā secībā:

1. aprēķina zemesslēguma strāvu *IZ* ;

1. atkarībā no elektroietaises veida nosaka nepieciešamo zemējumu pretestību *Rz*. Ja zemējums ir kopējs ietaisēm ar dažādu spriegumu, tad aprēķinā jālieto mazākā zemējuma pretestības vērtība;

3. nosaka zemes īpatnējo pretestību *ρ* (Ω∙cm). To var noteikt tieši, izdarot mērījumus zemējuma būves vietā. Faktiskā zemes īpatnējā pretestība atkarībā no zemes mitruma, dziļuma un gadalaika var izmainīties, tāpēc aprēķinos lieto koeficientus, ar kuriem reizina izmērīto zemes pretestību (10.5. tabula). Mitras zemes koeficientu lieto, ja mērījumi izdarīti rudenī, pavasarī vai arī ir daudz no­krišņu. Sausas zemes koeficientu izmanto vasarā, ja ir maz nokrišņu.

Ja zemes īpatnējā pretestība nav izmērīta, lieto aptu­venus datus (10.6. tabula). 10.6. tabulā uzrādīti dati 10 — 20% mitrai gruntij (pēc svara). Tāpēc lieto zemes īpat­nējās pretestības palielināšanās koeficientu *Kmax* (10.7. ta­bula) ;

4. aprēķina viena zemētāja pretestību *R.* Dažādu zemētāju pretestības aprēķināšanas izteiksmes maiņstrāvai dotas 10.8. tabulā;

10.5. tabula

**Koeficienti zemes īpatnējās pretestības noteikšanai**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | |  | |  |  |
| **Zemētāja raksturojums** | **Ierakšanai dziļums, m** | **Mitra zeme** | | **Vidēji mitra zeme** | | **Sausa zeme** |
| Horizontālie zemētāji | 0,3 | 12 | | 7 | | 5 |
| 0,5 | 6,5 | | 5 | | 4,5 |
| 0,8 | 3,0 | | 2,0 | | 1,6 |
| Līdz 3 m gari vertikālie  zemētāji | 0,8 m  no zemes virsmas | 2,0 | | 1,5 | | 1,4 |

10.6. tabula

**Zemes īpatnējā pretestība**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Augsnes veids | Zemes īpatnēja pretestība, Ω∙m∙104 | |
| iespējamās vērtības  aprēķinos | pieņemtā vērtība |
| Smilts | 4 - 10 | 7 |
| Mālaina smilts | 1,54 - 4 | 3 |
| Smilšains māls | 0,4 - 1,5 | 1 |
| Māls | 0,08 - 0,7 | 0,4 |
| Akmeņains mals | 0,09 - 1,5 | 1 |
| Melnzeme | 0,06 - 2 | 1 |
| Akmeņaina melnzeme | 1,5 - 2 | 2 |
| Kūdra | 0,1 - 0,5 | 0,2 |
| Gruntsūdens | 0,2 - 0,7 | 0,5 |

1. orientējoši aprēķina vertikālo zemētāju skaitu:

 (10.15)

kur *Rv* — viena zemētāja pretestība, Ω;

*Rz* — elektroietaisei nepieciešamā zemējuma pretes­tība, Ω;

*η* — izmantošanas koeficients;

*n* —zemētāju skaits.

10.7. tabula

**Zemes īpatnējās pretestības palielināšanās koeficients *Kmax***

|  |  |
| --- | --- |
| **Zemētāja veids** | ***Kmax*** |
| 2...3 m gariem vertikāliem zemētājiem | 1,44…1,6 |
| Horizontāliem zemētājiem 0,8 m dziļumā | 2,0...2,5 |

Lietojot vairākus vertikālos zemētājus, pa tiem plūsto­šās strāvas zemesslēguma gadījumā rada katra savu elek­trisko lauku. Zemētāji ekranizē viens otru, un rezultātā to kopējā pretestība pieaug. Kopējo zemētāju pretestības attiecību pret atsevišķo zemētāju pretestību summu sauc par izmantošanas koeficientu *η*. Rindā un pa kontūru izvietotu apaļtērauda un leņķa tērauda zemētāju izman­tošanas koeficienti doti 10.9. tabulā;

6. uzzīmē vertikālos zemētājus plānā un izmēra savienojošo horizontālo zemētāju garumus;

7. izrēķina viena savienojošā horizontālā zemētāja pretestību *Rh* (10.9. tabula);

8. aprēķina visu horizontālo zemētāju pretestību:

 (10.16)

10.8. tabula

**Zemētāju pretestību aprēķināšanas izteiksmes**

|  |  |
| --- | --- |
| Zemētāja veids | Aprēķina formula |
| Apaļtērauda stienis vai caurule (dia­metrs *d*, garums *l*) vertikāli zemē, leņķa tēraudam *d* = 0,95∙*b* (b — vie­nas malas platums)  Apaļtērauda stienis vai caurule (dia­metrs *d*, garums *l*) vertikāli zemē, ja augšējais gals ir 0,5 m dziļuma no zemes virspuses un dziļāk (*t* — attā­lums no zemes virspuses līdz caurules vidum) |  |
| Apaļtērauds (diametrs *d*, garums *l*) ho­rizontāli zemē dziļumā *t*  Plakantēraudam ar platumu b, *d* = 0,5*b* |  |
| Apaļtērauda (diametrs *d*) gredzens (gre­dzena diametrs *D*) horizontāli zemē dziļumā *t* |  |
| Apaļtērauda stienis (garums l, diametrs d) vai caurule, slīpi zemē (n — elek­trodu skaits, A — lielums, kas atka­rīgs no elektrodu skaita un no slī­puma leņķa *α*) | ja *α* = 45°  un *n* = 2, *A*2 = 2,45  *n* = 3, *A*3  = 4,27  *n* = 4, *A*4 = 6,18 |

Zemētāju konstrukcija un dati atkarībā no zemes īpatnē­jās pretestības un no elektroietaisei nepieciešamās zemējuma pretestības apskatīti 10.11. tabulā un 10.17. attēlā. Zemējums izveidots no 10 mm diametra tērauda. Visi me­tāliskie savienojumi sametināti. Vertikālos un horizontālos zemētājus ierīko 0,5-0,7 m, bet aramzemē 1,0 m dziļās tran­šejās (10.18. att.).

10.9. tabula

**Tērauda stieņu un leņķu zemētāju izmantošanas koeficients, neievērojot savienotājus**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Zemētāju**  **skaits** | **Zemētāju savstarpējā attāluma attiecība pret to garumu *a/l*** | | | | | |
| **Zemētāji izvietoti rindā** | | | **Zemētāji izvietoti pa kontūru** | | |
| 2 | 0,85 | 0,91 | 0,94 | — | — | — |
| 4 | 0,73 | 0,83 | 0,89 | 0,69 | 0,78 | 0,85 |
| 6 | 0,65 | 0,77 | 0,85 | 0,61 | 0,73 | 0,80 |
| 10 | 0,59 | 0,74 | 0,81 | 0,55 | 0,68 | 0,76 |
| 20 | 0,48 | 0,67 | 0,76 | 0,47 | 0,63 | 0,71 |
| 40 | — | — | — | 0,41 | 0,58 | 0,66 |
| 60 | — | — | — | 0,39 | 0,55 | 0,64 |
| 100 | — | — | — | 0,36 | 0,52 | 0,62 |

Apakšstacijas zemētājs sastāv no 10-12 mm diametra apaļtērauda vai 40 x 40 x 4 leņķtērauda vertikāliem zemētājiem, kas savienoti ar 6 mm diametra tērauda stiepli vai 25x4 mm tērauda lentu. Vertikālo zemētāju garums 3—5 m. Transformatora neitrāli pievieno zemētājam ar atsevišķu zemējuma pievadu.

Masta tipa transformatora apakšstacijas zemētājs, ja zemes īpatnējā pretestība ρ ≤ 1∙I04 Ω∙cm, dots 10.19. attēlā.

Vismazākais darbu apjoms ir, iekārtojot slīpos zemētājus. Slīpo zemētāju pretestības aprēķināša­nas izteiksme dota 10.8. tabulā. Slīpo zemētāju ierīkošanai izrok nelielu bedri ar slīpām malām un 45° leņķī ierīko 2-4 zemētājus (10.20. att.). Zemētājus savieno sametinot un pievieno zemējuma pie­vadus.

10.10. tabula

**Vertikālo zemētāju savienotāju izmantošanas koeficients**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Vertikālo zemētāju savstarpējā attāluma attie­cība pret to ga­rumu *a/l*** | **Vertikālo zemētāju skaits *n*** | | | | | | | |
| **2** | **4** | **6** | **10** | **20** | **40** | **60** | **100** |
|  | Vertikālie zemētāji izvietoti rindā | | | | | | | |
| 1 | 0,85 | 0,77 | 0,72 | 0,62 | 0,42 | — | — | — |
| 2 | 0,94 | 0,89 | 0,84 | 0,75 | 0,56 | — | — | — |
| 3 | 0,96 | 0,92 | 0,88 | 0,82 | 0,68 | — | — | — |
|  | Vertikālie zemētāji izvietoti pa kontūru | | | | | | | |
| 1 | — | 0,45 | 0,40 | 0,34 | 0,27 | 0,22 | 0,20 | 0,19 |
| 2 | — | 0,55 | 0,48 | 0,40 | 0,32 | 0,29 | 0,27 | 0,23 |
| 3 | — | 0,70 | 0,64 | 0,56 | 0,45 | 0,39 | 0,36 | 0,33 |

10.11. tabula

**Tipveida zemētāju tehniskie dati**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Zemes īpatnē­jā pretestība,  ρ, Ω·cm | Zemējuma pretestība,  Ω | Zemētāju garums, m | Vertikālo zemētāju skaits, *n* | Attālums *a* starp vertikāliem zemētājiem, m | Piezīmes |
| 0,5∙104 | 10 | 6 | — | — | 10.17. att. *a* |
| 1∙104 | 10 | 16 | 2 | 6 | 10.17. att. *b* |
| 1,5∙104 | 10 | 20 | 2 | 10 |  |
| 2,5∙104 | 10 | 40 | 2 | 30 |  |
| 5∙104 | 10 | 70 | 3 | 20 | 10.17. att. *c* |
| 0,5∙104 | 30 | 1,7 | — | — |  |
| 1∙104 | 30 | 3,4 | — | — |  |
| 1,5∙104 | 30 | 6 | — | — |  |
| 2,5∙104 | 30 | 12 | — | — |  |
| 5∙104 | 30 | 27 | 3 | 6 |  |
| 7∙104 | 30 | 40 | 4 | 5—10—5 |  |
| 10∙104 | 30 | 60 | 6 | 5—5—10—5—5 |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Griezums* | | *Plāns* | |
| ***a*** | ***b*** |  |  |
| ***c*** | |  | |

10.17. att. Tipveida zemētāju skices

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 10.18. att. Zemētāja uzstādīšana tranšejā ar divslāņu grunti: *l* – zemētāja garums; *d* – zemētāja diametrs; *h* – grunta virsēja slāni biezums; *t* - attālums no zemes virsmas līdz vertikālā elek­troda vidum; *th* - tranšejas dziļums | | 10.19. att. Mastu tipa apakšstacijas zemētājs,  *ρ* ≤ 1∙I04 Ω∙cm |
| 10.20. Slīpo zemētāju skice: 1 – slīpais zemētajs; 2 – balsts; 3 – zemēšanas pievads | Bieži iekārto dziļuma zemētājus, vertikālos un slīpos zemētājus iedziļinot 5-15 m. Tiem ir labas īpašības impulsa strāvu novadī­šanā, sevišķi neviendabīgās gruntīs. Šādiem zemētājiem izlieto mazāk metāla, tie aizņem mazu platību un ir eko­nomiskāki. | | |

Aplūkosim t. s. *izmantošanas koeficienta metodi,* ko praksē plaši lieto vienkāršo zemētāju aprēķinos. Pie *galvenajiem izejas datiem,* pēc kuriem jāvadās, projektējot zemējumietaisi, pieder

* īsslēguma strāva, kuras izplūdei jāparedz zemētājs;
* izmēri laukumam, kurā jāievieto zemētājs;
* grunts parametri;
* strāvas plūšanas ilgums zemētājā.

Pēc izmantošanas koeficientametodes viena vertikālā stieņveida elek­troda pretestību *Rst* atrod no sakarības

 (10.17)

kur *ρ* — grunts īpatnējā pretestība, Ω∙m;

*l* — elektroda garums, m;

*d*— elektroda diametrs, m;

*t* — attālums no zemes virsmas līdz vertikālā elek­troda vidum, m.

Tā kā visi elektrodi savienoti pa­ralēli, tad vertikālo elektrodu sum­mārā pretestība

 (10.18)

kur *n*— vertikālo elektrodu skaits;

*η* — elektrodu izmantošanas koefi­cients, ievērojot to savstarpējo ekra­nēšanos (atrod no 10.21 att. *c* dotajām līknēm vai 10.10. tabula datiem).

|  |  |
| --- | --- |
| ***a*** | ***b*** |
|  | 10.21. att. Vienkārša zemētāja frag­ments:  *a* — stieņveida zemētājelektrodu savstar­pējais izvietojums, *b* — strāvas izplūde gruntī, ievērojot zemētajelektrodu savstarpējo ekranēšanos, *c* — pa kontūru izvietotu stieņveida zemētajelektrodu izmantošanas koeficienta ***η*** līknes atkarībā no elektrodu skaita ***n***un attiecības ***a/l***; 1 – vertikāls zemētājs; 2 - horizontāls zemētājs; *l* – zemētāja garums; *a* – attālums starp vertikāliem zemētājiem |

Zinot normēto zemējumpretestību *Rnorm* un dabisko zemētāju pretestību *Rdab* (nosaka eksperimentāli), atrod nepieciešamo mākslīgo zemētāju pre­testību:

 (10.19)

Nepieciešamais vertikālo elektrodu skaits

 (10.20)

Tā kā sākumā elektrodu skaits un attālums starp tiem nav zināms, *n* un *η* nosaka ar pakāpenisko tuvinā­jumu metodi.

Saskaņa ar EIN zemējumietaisēs jāveic šādas *pārbaudes*:

1. zemējumietaises elementu ārējā apskate;
2. saites pārbaude starp zemētāju un zemētajām elektroiekārtām. Šīs pārbaudes laikā ar īpašiem ommetriem izmēra saites pretestību *RS* un konstatē, vai pārbaudāmā iekārta nav zem sprieguma;
3. zemētāja izplūdes pretestības eksperimentāla pārbaude. To veic ar ommetriem, uz kura skalas var tieši nolasīt zemētājpretestības vērtību omos;
4. ķēdes fāze—nulle pretestības noteikšana ietaisēs ar spriegumu līdz 1000 V un cieši zemētu neitrāli;
5. caursitamo drošinātāju pārbaude ietaisēs ar spriegumu līdz 1000 V un izolētu neitrāli (ārējā apskate, izolācijas mērīšana un izlādes raksturlīknes pārbaude).

**Zemētāja aprēķina piemērs.**

Zemētāju aprēķinu veic, nosakot

1. katra atsevišķa zemētāja pretestību;
2. zemētāju skaitu.

Atsevišķa zemētāja pretestība ir atkarīga no zemējuma konstrukcijas un grunts pretestības. Zemētāju skaitu nosaka, zinot normatīvo zemēšanas ietaises pretestību un grunts īpatnējo pretestību *ρ*' (10.5. un 10.6. tab.).

Lai ņemtu vēra grunts pretestības palielināšanos, zemei sasalstot, lieto sezonas koeficientu *KM*. Vertikāliem elektro­diem *KM* = 1,5-1,9 un horizontāliem elektrodiem *KM* = 1,8-5,8; tas ir atkarīgs no klimatiskā rajona (10.7. tab.).

Aprēķina

*ρ* = *KM* *ρ*'.

Vertikāla zemētāja pretestību apaļtērauda elektrodiem aprēķina pēc formulas



vai



kur *l* - zemētāja garums (cm);

*d* - zemētāja diametrs (cm);

*t* - attālums no zemes virsmas līdz zemēšanas stieņa vidum (cm) (sk. 10.22. att.).

Ja apaļa stieņa vietā ir lenķtērauds, tad

*d =* 0,95∙*b*,

kur *b* - leņķtērauda platums.

Orientējošiem aprēķiniem var pieņemt, ka

*Rst* ≈ 0,003 *ρ*.

|  |  |
| --- | --- |
| Nepieciešamo vertikālo elektrodu skaitu, neņemot vēra horizontālo elektrodu pretestību, aprēķina pēc formulas:    kur *n* - elektrodu skaits;  *ηv* - elektrodu izmantošanas koeficients, kas atrodams rokasgrāmatas un ir atkarīgs no elektrodu skaita un to savstarpēja attāluma  *RZ*- elektroiekārtas pretestība, Ω. | 10.22. att. |

Tā kā elektrodu skaits nav zināms, tad *ηv* var noteikt tikai aptuveni. Lai to izdarītu, aprēķina minimāli iespējamo elektrodu skaitu:



Šo skaitu palielina apmēram par 20 %, izvēloties noteiktu elektrodu skaitu un pēc šī skaita nosaka *ηv.*

Pēc elektrodu skaita nosaka horizontālā elektroda garumu un aprēķina tā pretestību:



kur *th* - ieguldīšanas dziļums (cm);

*lh* - horizontālā elektroda garums (cm);

*b* - horizontālā elektroda (lentes) platums (cm).

Ņemot vērā lietderības koeficientu, faktiskā horizontāla zemētāja pretestība



kur *ηv* - horizontālā zemētāja lietderības koeficients, kuru atrod literatūrā.

Vertikālos elektrodus savienojot ar horizontālajiem elektrodiem, kopējā zemējuma pretestība samazināsies. Lai noskaidro tu faktiski nepieciešamo elektrodu skaitu, jāaprēķina nepie­ciešama summāra vertikālo zemētāju pretestība, ņemot vērā horizontālo zemētāju.



Pēc šī *RstΣ* nosaka galīgo elektrodu skaitu:



Elektrodu skaitu izvēlas tādu, lai tas būtu konstruktīvi izdevīgs, jo samazinot vertikālo elektrodu skaitu, palielināsies arī horizontālā elektroda pretestība un līdz ar to visa zemētāja pretestība.

Ja elektrodu skaits noteikts, jāaprēķina kā iepriekš *RhΣ* un *R'stΣ*, un galīgā zemētāja vērtība *R'Z*.

Rezultātam jābūt mazākam par *RZ*. Ja šis noteikums nav izpildīts, jāpalielina elektrodu skaits un aprēķins jāatkārto.

***Aprēķina uzdevums.*** Jāaprēķina zemēšanas ietaises elektrodu skaits un ietai­ses pretestība atbilstoši EIN normatīviem.

Dotie lielumi:

1. Elektrodi - lenķtērauds 50 x 50 x 5 mm.

2. Elektroda garums *l* = 3 m.

3. Elektrodu iedzīšanas dziļums zem zemes - 0,6 m (*th =* 0,6 m).

4. Attālums starp elektrodiem *a* = 6 m (*a*/*l* = 2),

5. Grunts - smilšains māls.

6. Zemesslēguma strāva augstsprieguma ietaisei *IZ* = 25 A.

7. Zemēšanas ietaise kopīga augstsprieguma un zemsprieguma ietaisei.

8. Elektrodi novietojami kontūrā.

9. Horizontālais zemētājs - apaļtērauds, kura diametrs 10 mm.

Aprēķina noteikumi

1. Aprēķinā jāņem vērā vertikālo un horizontālo zemētāju pretestība.

2. Nepieciešamie dati jāņem no tabulas.

Aprēķins

1. Normatīvā zemējuma pretestība.



Tā kā pēc noteikuma *RZ* < 4 Ω, tad faktiskā *RZ* = 4 Ω.

2. Elektrodu ekvivalentais diametrs

*d* = 0,95∙*b* = 0,95∙5 = 4,75 cm.

3. Elektrodu vidējais ieguldīšanas dziļums



4. No tabulām (10.6. un 10.7. tab.)

*ρ'* = 1∙l04  Ω∙cm, *KM* = 1,5

5. Aprēķina grunts īpatnējo pretestību:

*ρ* = *KM*∙*ρ’*' = 1,5∙1∙104 = 1,5∙104 Ω∙cm .

6. Aprēķina viena vertikālā elektroda pretestību (10.8. tab.):



7. Pēc tabulām (10.9. tab.) nosaka orientējošo *ηv* vērtību un aprēķina orientējošo elektrodu skaitu:



|  |  |
| --- | --- |
| 8. Ņemot vērā, ka horizontālie elektrodi samazinās zemējuma pretestību, samazina elektrodu skaitu:  *n* = 16,  izvietojot pa 4 četrās rindās (10.23. att.).  9. Horizontālā zemētāja garums  vienai rindai - 3 x *a* = 3 x 6 = 18 m;  8 rindām *lh* = 18 x 8 = 144 m. | 10.23. att. |

10. Horizontāla zemētāja pretestība (10.8. tab.)



11. No tabulām (10.10. tab.) atrod *ηh* un aprēķina rezultējošo horizontālā zemētāja pretestību:



12. Faktiski nepieciešamā vertikālo elektrodu summārā pre­testība



|  |  |
| --- | --- |
| 1. Faktiskais elektroda skaits     Pieņemam galīgo vertikālo elektrodu skaitu  *n'* = 12 elektrodi (10.24. att.).  14. Faktiskais horizontālo elektrodu garums | 10.24. att. |

*l'a* = 3·18 = 54 m,

*l'b* = 4·12 = 48 m,

*l'h* = *la + lb* = 54 + 48 = 102 m.  
 15. Faktiskā horizontālo elektrodu summārā pretestība



No tabulām (10.10. tab.) atrod  un aprēķina rezultējošo horizontālā zemētāja pretestību:



16. Faktiskā vertikālo zemētāju summārā vērtība



17. Faktiskā zemējuma kontūra pretestība



*Secinājums*. Tā kā *R*Σ = 3,3 Ω < *RZ* = 4 Ω, tad zemējuma kontūru var izbūvēt pēc pieņemtā konstruktīvā izveidojuma ar 12 vertikāliem elektrodiem no lenķtērauda 50 x 50 x 5 mm, elektroda garums 3 m.

Lai panāktu nepieciešamo zemējuma pretestību, veido dažādus zemējuma kontūrus.  
Pārsvarā zemējuma kontūru veido, ja ir pietiekoši daudz brīvas vietas. Ja ir liela īpatnējā  
grunts pretestība un grūti realizēt dziļā zemējuma elektroda metodi, var veidot kontūru, kas  
pārsvarā sastāv no apvienotiem vertikāliem un horizontāliem elektrodiem. Veidojot zemējuma kontūru attiecīgo kontūra pretestību var iegūt ar īsiem elektrodiem, bet tas var aizņemt ievērojamu platību. Lielākoties praktizē zibens aizsardzības kontūra veidošanu apkārt ēkas perimetram. To dara ar nolūku, jo lielākām ēkām ir daudz zibens novedēju un tas atvieglo kontūra izveidošanu un novedēju piestiprināšanu. Ja kāda iemesla dēļ nav iespējams izveidot vienotu kontūru apkārt ēkas perimetram visiem zibens novedējiem, tad kontūrus var veidot katram novedējam atsevišķi. Ekonomiski ir izveidot vienotu kontūru, jo tā ekonomē līdzekļus un taupa materiālus.

Zemējuma kontūru izveido divējādi. Lielākoties jau esošām un arī jaunbūvējamām ēkām  
kontūru izvieto ārpus ēkas, bet pēdējos gados Latvijā izmanto zemējuma kontūru, ko veido  
ēkas pamatos. Eiropā šādu kontūra izvietošanu lieto senāk.

Šāds zemējuma kontūra risinājums ir 10.25. attēlā.

|  |
| --- |
|  |

10.25. att. Ēkas pamatos izveidotais zemējuma kontūrs

Izvietojot ēkas pamatos zibens aizsardzības un arī elektroiekārtu aizsardzības kontūrus  
neizlieto zemi ap ēku un šī zeme atstāta brīva citu komunikāciju izvietošanai. Starp dažādām  
komunikācijām jāievēro noteiktie pieļaujamie satuvinājumi. Bieži daudzo komunikāciju dēļ  
nav brīvas vietas zemējumam, bet ēkas pamatu izmantošana zemējuma kontūrām nerada  
problēmas citu komunikāciju izvietošanā.

Svarīgi veidojot zemējumu ēkas pamatos paredzēt daudz vairāk izvadu zibens novedēju  
pieslēgšanai. Pretējā gadījumā sabojājoties kādam izvadam var nākties veidot atsevišķu  
kontūru kādam no novedējiem.

Agrāk veidojot dažādu zemējumu elementu savienošanu, nepieciešams visās savienojumu vietās nodrošināt galvaniskus savienojumus sametinot. Pēc Eiropas normām no metināšanas atteikušies, bet šāds savienošanas veids netiek izslēgts. Metināšana notiek ar speciālu pulveru un iekārtu palīdzību. Izņemot zemējumu kontūrus, kuri novietoti ēkas pamatos, kur kategoriski pēc Eiropas normām aizliegts izmantot metināšanas paņēmienu. To pamatoto ar metalurģisko efektu, jo sametināto zemējuma kontūru ēkas pamatos var sabojāt novadot zibens spēriena enerģiju zemē. Tāpēc iesaka izmantot skrūvju savienojumus, jo šāds savienojums kalpo ilgāk nemainot savus tehniskos parametrus ēkas pamatos.

**10.11. STIEŅA ZEMĒJUMA METODE.**

Viens no vienkāršākajiem zemējumiem ir atsevišķa stieņa zemējums. Atsevišķa stieņa zemējumu var izmantot, ja ir maza īpatnējā grunts pretestība, jo pretējā gadījumā ar vienu atsevišķi stāvošu elektroda stieni var būt grūti iegūt vēlamo zemējuma pretestību zem 10 Ω. Bieži pilsētas rajonos, būvējot jaunas ēkas vai esošām ēkām veidojot zibens aizsardzības zemējumu, rodas problēmas ar brīvu vietu atrašanu zemējuma kontūrām. Rezultātā nepieciešams izmantot vienu zemējuma elektrodu. Ja grunts īpatnējā pretestība ir zema, tad veicot attiecīgos aprēķinus var noteikt cik garš elektrods pie attiecīgās grunts pretestības ir nepieciešams. Ja īpatnējā grunts pretestība ir augsta, tad var nākties izmantot dziļā zemējuma elektroda metodi. Lielākoties normālos apstākļos izmanto 3 vai 5 metrus garus elektrodus, ar kuriem panāk attiecīgo zemējuma pretestība. Taču mēdz būt vietas, kurās ir zemi gruntsūdeņa līmeņi vai zeme satur akmeņainas gruntis, kurām ļoti augsta īpatnējā pretestība. Šādās vietās, ja nav iespējams izmantot zemējuma kontūru, nepieciešams lietot dziļo elektrodu metodi (līdz 20 m). Šajā gadījumā izmanto speciālus savienojamus elektrodus (sk. 10.14. att.), ko pa posmiem dzen dziļi zemē un savieno. Latvijā šādu metodi lieto pārsvarā lielās pilsētās, kur ir maz brīvas zemes. Eiropā šādu metodi daudz lieto kalnainos rajonos, kur grūti izveidot zemējuma kontūru. Kalnainos apgabalos, kur ļoti augsta grunts pretestība, bieži pat ar dziļo elektrodu metodi grūti panākt nepieciešamo zemējuma pretestību. Šajā sakarā piedāvā dažādas vielas, kuras papildus ber pie elektroda, lai samazinātu pretestību. Taču nepieciešams veikt biežus zemējuma mērījumus, jo ar laiku viela zaudē savas īpašības un to nepieciešams atjaunot.

Pārsvarā Eiropā atsevišķiem zemētājiem vairāk praktizē un lieto vertikālos zemētājus.  
bet pieļauts šo zemētāju veidot arī horizontāli.

**10.12. SPECIĀLO VEIDU TELPAS UN IEKĀRTAS.**

**10.12.1. TELPAS AR VANNU UN DUŠU.**

Telpās ar vannu un dušu saskaņā ar DIN VDE 0100 daļu 701 izšķir zonas 0, 1, 2 un 3. Ar šo zonu iedalījumu tiek noteiktas bīstamības zonas, kurās mitrums, cilvēka ķermeņa pretestības samazinājums un savienojums ar zemes potenciālu, var veidot bīstamu strāvu caur ķermeni.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

10.26. att. Vannas un dušas telpu zonu iedalījums

Elektriskā instalācija telpās ar vannu un dušu ir jāierīko tā, lai cilvēki netiek apdraudēti ar bīstamu strāvu caur ķermeni (DIN VDE 0100).

**Zomu iedalījums:**

**Zona** **0** ietver vannas vai dušas kabīnes iekšpusi (10.26. un 10.27. att.). Šajā zonā pastāv ļoti liela bīstamības pakāpe.

**Zona 1** tiek norobežota ar vertikālām plaknēm ap vannas vai dušas telpu (10.26. un 10.27. att.). Ap atsevišķi stāvošu dušu bez dušas telpas zonā 1 veidojas atbilstoši cilindra ārējai virsmai ar rādiusu r = 0,6 m ap dušas sietiņu.

**Zona 2** sāniski robežojas ar zonu 1 platumā 0,6 m (smidzināšanas zona).

**Zona 3** sāniski robežojas ar zonu 2 platumā 2,4 m.

Zonu 1, 2 un 3 augstums ir 2,25 m no grīdas.

Ja zonas 2 un 3 ap dušas vai vannas istabām nodala ar cietām sienām, tad to biezumam jābūt s (10.26. att.).

**Līniju un kabeļu guldīšana.** Telpās ar vannu vai dušu pieļaujama plastmasas izolācijas kabeļu NYY, līniju ar apvalkiem NYM un līniju ar dzīslu plastmasas izolāciju HO7-U instalācija plastmasas caurulēs. Plakanos vadus drīkst pielietot tikai zonā 3. Zonās 0, 1 un 2 nedrīkst pieļaut lietot līnijas apmetumā, zem apmetuma vai zem sienu apšuvuma. Pieļaujama līniju pievadīšana pie nekustīgi montētām ražošanas elektroiekārtām, piemēram, karstā ūdens sagatavotājam vai ventilācijas aparātiem, ja līnijas tiek noguldītas vertikāli un tieši ražošanas elektroiekārtu aizmugures.

Cauri zonām 0, 1, 2, un 3 nedrīkst guldīt nevienu līniju vai kabeli, kas kalpo citu telpu elektroapgādei.

Izpildot instalācijas darbus uz sienu, kas robežojas ar zonām 1 un 2, aizmugures, jābūt starp līnijām vai sienā iebūvētiem korpusiem un vannu vai dušas telpu sienu virspusēm attālumam minimums 60 mm. Pie tam montējot stiprinājuma skavas, dušas caurules, jāseko, lai ar dībeļiem un skrūvēm nebojātu līnijas vai sienā iebūvētos korpusus.

**Ražošanas elektroiekārtu novietojums**. Zona 0 drīkst pielietot tikai tās elektroiekārtas, kas pilnīgi nepieciešamas pielietošanai mazgāšanas telpai. Tie jābaro ar aizsardzības zemspriegumu 12 V. Strāvas avotam jāatrodas ārpus zonas 0, piemēram, zem vannas vai blakus telpā.

Zonās 0, 1, un 2 nedrīkst montēt rozetes, slēdžus vai savienojumkontaktus, izņemot aparātos, kas nekustīgi uzmontēti, iebūvētos slēdžus.

**Zonā 3** ir atļauts montēt rozetes, ja tās baro no atdalošā transformatora vai ar aizsardzības zemspriegumu. TN-tīklā vai TT-tīklā rozetes var pieslēgt tieši pie tīkla, ja tās tiek aizsargātas ar noplūdes strāvas aizsardzību ar nominālo noplūdes strāvu IΔn ≤30 mA. Zonā 3 ir pieļaujami saviejumkontakti vai aparātos iebūvētas rozetes.

**Zonā 1** drīkst atrasties tikai nekustīgi montēti karstā ūdens sagatavotāji un vēdināšanas aparāti. Zonā 2 papildus atļauti arī apgaismes ķermeņi. Zonā 1 un 2 izsaukšanas un signālierīces var barot ar aizsargspriegumu augstākais 25 V maiņspriegumu un 60 V līdzspriegumu. Ražošana elektroaparātu noteiktie aizsardzības veidi parādīti tabulā 10.12.

10.12. tabula

**Ražošanas elektroiekārtu aizsardzības veidi telpas ar vannām un dušām**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Zona | Aizsardzības veidi un aizsardzības veidu apzīmējumi, ja veidojas  slapjums no aprasojuma | | | |
| Vaļējās pirtīs un sporta iekārtās (bieži) | | Dzīvojama zonā (reti) | |
| 0 | IP X7 |  | IP X7 |  |
| 1 | IP X5 |  | IP X4 |  |
| 2 | IP X5 |  | IP X4 |  |
| 3 | IP X5 |  | IP X1 |  |
| **Vannas istaba 2** | | | | | |

10.27. att. Zonu iedalījums telpai ar vannu vai dušu un papildus potenciāla izlīdzināšana

**Papildus potenciāla izlīdzināšana.**  Zonās 1, 2, un 3 Jāierīko papildus potenciāla izlīdzināšana (10.27. att.). Pie tam potenciāla izlīdzināšana jārealizē zonas iekšienē un jānovērš bīstamu pieskares spriegumu veidošanās. Potenciāla izlīdzināšana jāierīko arī telpās ar vannu vai dušu bez elektroiekārtām. Ar papildus potenciāla izlīdzināšanu savstarpēji jāsavieno metāla mazgāšanās vannas vai dušas vannas, vadītspējīgās notekierīces, metāliskās karstā un augstā ūdens caurules un pārējās metāliskās cauruļu sistēmas. Potenciāla izlīdzināšanas vadītājiem jābūt ar šķērsgriezumu minimums 4 mm² varš un jābūt savienotiem ar aizsardzības vadītājiem. Savienojumus var veidot centrālajos punktos, piemēram, apakšsadalnēs vai pie potenciāla izlīdzināšanas kopnēm. Savienojumus pie PA – kopnēm var veidot caur vadītspējīgām ūdens caurulēm, jā tās ar potenciāla izlīdzināšanas kopnēm jau ir savienotas.

Plastmasas vannās ar metāliskiem noplūdes ventiļiem un plastmasas caurulēm nav jāierīko potenciāla izlīdzināšana. Dušu kabīņu durvju metāla apmales, metāla logi, metāla rāmji vai saturstieņi zonās 1, 2 un 3 nav jāpiesaista pie papildus potenciāla izlīdzināšanas ja telpa netiek medicīniski izmantota.

**10.12.2. APJUMTIE PELDBASEINI UN PELDIERĪCES BRĪVĀ DABĀ.**

Ja peldētavas atrodas telpās, tad DIN VDE 0100 daļa 702 der tikai telpām ar peldbaseiniem. **Aizsardzības zonas** (10.28. att.) attiecas tikai uz telpu ar apjumto peldbaseinu vai uz peldierīcēm brīvā dabā, bet neattiecas uz apkārtējām telpām, piemēram, ģērbtuvēm. Apjumtie peldbaseinu un peldierīces brīvā dabā pamatā tiek uzskatītas kā mitras un slapjas telpas. Tikai kad ir nodrošināts, ka ar aprasojumu neveidojas slapjums un peldierīču iekšējās sienas netiek apspricētas, var ārpus aizsardzības zonām traktēt zonas kā sausas telpas.

**Aizsardzības zonu robežas un aizsardzības pasākumi.** Zona 0 ietver apjumtā baseina, kāju mazgāšanas renes un bērnu peldbaseina iekšpusi. Zona 1 beidzas 2 m attālumā no jumta malas (10.28. att.). Mazgāšanās ierīcēs ar kāju mazgāšanas renēm zona 1 beidzas 2 m no ūdens renes ārējās malas. Zona 2 ar platumu 1,5 m pieslēdzas zonas 1 malai. Zonu augstumam jābūt 2,5 m. Tas jāmēra arī no stāvlaukuma vai tramplīna grīdas. Ražošanas elektroiekārtas zonā 0, piemēram, zemūdens prožektori jābaro ar aizsardzības spriegumu (augstākais 50 V maiņspriegums vai 120 V līdzspriegums). Zonās 1 un2 Jāveic aizsardzības pasākumi ar aizsardzības sprieguma vai noplūdes strāvas aizsardzības ierīču, ar noplūdes strāvas nominālo vērtību IΔn ≤30 mA, pielietošanu. Apjumtajos baseinos un peldhallēs obligāti jālieto aizsardzības zemspriegums vai noplūdes stāvas aizsardzības ierīces.

|  |
| --- |
| Peldbasiens |

10.28. att. Zonu iedalījums un potenciāla regulēšana peldbaseinos bez kāju mazgāšanas renes.

**Potenciāla regulēšana un potenciāla izlīdzināšana.** Zonā 1 jāparedz potenciāla regulēšana līdz 2 m attālumam no baseina malas (10.28. att.). Betonā ieguldītie potenciāla regulēšanas vadītāji veic potenciāla izlīdzināšanu un novērš lielu soļa spriegumu. Tādēļ tie iespējami bieži jānogulda zem grīdas laukuma. Ja potenciāla regulēšanai izmanto būvniecības tērauda sietus, tad tie savstarpēji jāsametina. Potenciāla izlīdzināšanā ir jāietver visas vadītspējīgās detaļas, piemēram, metāla pārsegumi, ūdens caurules utt. Potenciāla regulēšana un potenciāla izlīdzināšana peldēšanas ierīču sadales skapī ir jāsavieno ar PE – vadītāju. Šo savienojuma līniju vadītspējai jābūt pusei no aizsardzības vadītāja šķērsgriezuma, tomēr minimums 6 mm² varš.

Aizsardzības zonās drīkst guldīt tikai tās līnijas, kuras kalpo tajās novietoto ražošanas elektroiekārtu barošanai. Noguldīt drīkst tikai plastmasas kabeļus NYY, apvalka līnijas NYM vai līdzvērtīgas līnijas bez vadītspējīgiem apvalkiem. Rozetēm ar nominālo spriegumu ≥ 50 V jābūt novietotām minimums 1,25 m attālumā no peldbaseina malas. Izolācijas pretestības mērīšanai sadales skapī jāparedz neitrāles vadītāju atdalīšanas spailes.

**10.12.3. SAUNU IEKĀRTAS.**

Saskaņā ar DIN VDE 0100 daļa 703 izšķir karstā gaisa saunas un tvaika saunas. Kārstā gaisa saunas ir telpas, kūrās gaiss tiek sakarsēts līdz augstai temperatūrai pie relatīvā gaisa mitruma zem 30%. Karstā gaisa saunas ir sausas telpas, jo nenotiek apspricēšana vai netiek uzstādītas mitrās un slapjās telpās. Tvaika saunās ievada karstu tvaiku, kas nosēžas uz sienām un uz griestiem. Tvaika saunas tiek uzskatītas kā mitras un slapjas telpas.

Instalējot saunu iekārtas, jāņem vērā vides augstā temperatūra. Iekšpusē lejpus grīdas iespējama temperatūra līdz 140°C, ārpusē pie sienām līdz 60°C. Tādēļ saunu telpu iekšpusē jāpielieto siltumizturīgi vadītāji, piemēram, silikona – lokanās līnijas. Kā aizsardzības pasākumi saunu telpās ar 1. klases ražošanas elektroiekārtām (aparāti ar aizsardzības vadītāju pieslēgumu) jāpielieto aizsardzības zemsprieguma aizsardzības ierīces vai noplūdes strāvas aizsardzības ierīces ar IΔn ≤ 30 mA. Ražošanas elektroiekārtām jāatbilst minimums aizsardzības veidam IP-24.

Telpu temperatūras regulatora vadības ķēdes ir jāapgādā ar temperatūras aizsardzību – temperatūras ierobežotājiem vai temperatūras drošinātājiem. Aizsardzība – temperatūras ierobežotājs vai temperatūras drošinātājs atslēdz saunas apsildi pirms saunas kabīnes karstākajā vietā temperatūra sasniedz 165°C.

Saunas telpu elektriskās ierīces jāvar atslēgt ar daudzpolīgo galveno slēdzi. Saunas telpas gaismas ķermeņi jāieslēdz vienā kopīgā strāvas ķēdē. Saunas telpas sadales skapī jāiebūvē neitrāles vadītāju atdalīšana spailes (10.28. att.).

**10.12.4. BŪVLAUKUMI.**

Būvlaukumos visas ražošana elektroiekārtas jābaro no speciāliem barošanas punktiem (DIN VDE 0100 daļa 704). Barošanas punkts ir strāvas sadales skapis (10.29. att.), avārijas strāvas ģenerators vai nozarojumi no vietējiem sadales skapjiem.

Būvlaukumus nedrīkst barot no māju instalācijas rozešvaida savienotājiem.

Pēc būvniecības sadales skapjiem drīkst pielietot vienu vai vairākus aizsardzības pasākumus, piemēram, aizsardzības izolēšanu, aizsardzības zemspriegumu, aizsardzības atdalīšanu vai noplūdes strāvas aizsargierīces. Pie 16 A rozetēm noplūdes strāvas nominālai vērtībai jābūt IΔn ≤ 30 mA, pie visām pārējām ražošanas elektroiekārtām augstākais 0,5 A. Noplūdes strāvas aizsardzības ierīces būvlaukumos jāpārbauda tās mehāniskā funkcionēšana katru dienu pirms darbu sākuma ar pārbaudes pogas palīdzību.

|  |
| --- |
|  |

10.29. att. Būvlaukuma sadales skapis kā pieslēgumu un sadales skapis.

**Būvlaukuma sadales skapim** jābūt izpildītam minimums ar aizsardzības veidu IP 43 atbilstoši DIN VDE 0612 (10.13. tab.). Tajā jābūt, bez galvenā slēdža, iespējai atslēgt lielākās iekārtas pa daļām. Pārvietojamām līnijām jāatbilst minimums izbūves veidam H07RN-F.

|  |  |
| --- | --- |
| 10.13. tabula  **Būvlaukumos ievietojamo ražošanas elektroiekārtu aizsardzības veidi un**  **izpildījums** | |
| **Ražošanas elektroiekārta** | **Aizsardzības veids, attiecīgi izpildījums** |
| Instalācijas slēdzis | IP X4 |
| Iespraudierīces ierīces | IP X4, izolācijas materiāla korpuss |
| Nozarkārbas | IP X4 |
| Iespraudierīces, 2 polīgas | Vissmagākiem apstākļiem (DIN VDE 0620) |
| Apgaismes ķermeņi | IP X3 |
| Rokas pārnesamās lampas | IP X5 |
| Elektriskās spēkstacijas | Aizsardzības izolētas |

**10.12.5. LAUKSAIMNIECĪBAS UN DĀRZKOPĪBAS LAUKU ĪPAŠUMI.**

Lauksaimniecības un dārzkopības lauku īpašumos izšķir dzīvojamās ēkas un saimniecības būves. Par saimniecības būvēm tiek uzskatītas, piemēram, kūtis, perēšanas telpas un dzīvnieku audzēšanas telpas, telpas barības sagatavošanai, kūtsaugšas, kā arī noliktavas salmiem, minerālmēsliem un graudaugiem. Saimniecības ēkas dārzkopības lauku īpašumos galvenokārt ir siltumnīcas. Mitruma, ķīmiski kaitīgu tvaiku, skābju un sāls kaitīgās iedarbības rezultātā uz ražošanas elektroiekārtām lauksaimniecības lauku īpašumos pastāv paaugstinātas nelaimes gadījumu briesmas cilvēkiem un derīgiem dzīvniekiem. Siltumnīcās, piemēram, vienmēr jārēķinās ar lielu gaisa mitrumu. Tādēļ tur, bez ražošanas elektroiekārtu mehānisko aizsardzību, sevišķi nozīmīga ir aizsardzība pret mitruma iekļūšanu. Ar siena, salmu, attiecīgi, lopbarības un minerālmēslu uzglabāšanu noliktavās pastāv paaugstināta ugunsbīstamība.

Dzīvojamo māju elektroinstalācijai lauksaimniecības un dārzkopības lauku īpašumos der vispārīgie noteikumi māju instalācijai saskaņā ar DIN VDE 18015.

Nepārvietojamai instalācijai pieļaujamās tīkla formas ir TN, TT un IT-tīkli (DIN VDE 0100 daļa 705). Pielietojot TN-tīklu telpās vai vietās ar ugunsbīstamību, piemēram, kūtīs, pārtikās šķūņos, elektriskās iekārtas jāveido kā TN-S-tīkls, tas nozīmē, ka neitrāles vadītāji un aizsardzības vadītāji jāgulda atsevišķi. Ja veic aizsardzību pret netiešo pieskaršanos ar automātisko atslēgšanu, piemēram, TN-S tīkls ar noplūdes strāvas aizsardzības ierīcēm, tad zonai, kura kalpo dzīvnieku turēšanai, ilglaicīgi pieļaujamā pieskares sprieguma robežvērtība UL = 50 V maiņspriegums, attiecīgi, 120 V līdzspriegums.

**Potenciāla izlīdzināšana un potenciāla regulēšana.** Dzīvnieku stāvlaukumos ražošanas elektroiekārtas un visas vadītspējīgās daļas, piemēram, ūdens caurules, individuālie dzirdinātāji, piesiešanas ierīces, slaukšanas iekārtas vai tērauda konstrukciju daļas, pie kurām var visi dzīvnieki ar saviem ķermeņiem pieskarties, savā starpā jāsavieno ar papildus potenciāla izlīdzināšanu un ar iekārtas aizsardzības vadītāju (10.30. att.).

Kūts gŗīdā jānogulda potenciāla regulēšana, piemēram, savstarpēji sametinātus būvniecības metāla sietus. Potenciāla regulēšana jāsavieno ar papildus potenciāla izlīdzināšanu un ar aizsardzības vadītājiem (10.30. att.). Līdz ar to soļa spriegums priekš derīgiem dzīvniekiem tiek ieturēts pietiekoši mazs.

Nepārvietojamai instalācijai jāpielieto apvalka līnijas (NYM) vai kabeļi ar plastmasas apvalku, piemēram, NYY. Līnijām virs apmetuma sevišķi bīstamās vietās jābūt mehāniskai aizsardzībai, piemēram, plastmasas aizsargcaurulēs. Kūtīs līnijas jāgulda tādā attālumā, lai tās nevar aizsniegt ar roku. Līnijas jāgulda tā, lai derīgie dzīvnieki tās nevarētu aizsniegt un netiktu traumēti.

Līnijas un kabeļi, kas noguldīti telpās ar paaugstinātu ugunsbīstamību, piemēram, noliktavas ar sienu un salmiem, vai šķērso tās, jāapgādā ar īsslēgumu aizsardzību. Bez tam pirms ugunsbīstamām telpām jāierīko pārstrāvas aizsardzības ierīces. Ja līnija vai kabelis ir noguldīts cauri telpai, kurai strāvas apgāde nav nepieciešama, līnijām šajās telpās jābūt bez savienojumu vietām.

|  |
| --- |
|  |

10.30. att. Derīgo dzīvnieku stāvēšanas zonas potenciāla izlīdzināšana un potenciāla regulēšana.

Lauksaimniecības un dārzkopības lauku īpašumos ražošanas elektroiekārtas jāaizsargā ar noplūdes strāvas aizsardzības ierīcēm ar nominālo noplūdes strāvu IΔn ≤ 0,5 A . Strāvas ķēdes rozetes jāaizsargā ar noplūdes strāvas aizsardzības ierīcēm ar IΔn ≤ 30 mA.

Normālas lietošanas ražošanas elektroiekārtām jābūt minimums ar aizsardzības veidu IP X4. Vajadzības gadījumā var pielietot augstāku aizsardzības veidu, piemēram, putekļainā vidē minimālais aizsardzības veids IP X5. Apgaismes ķermeņus jāaizsargā pret mehāniskiem bojājumiem. Ražošanas elektroiekārtām, kas nobaroti ar aizsardzības spriegumu, jānodrošina ar aizsardzību pret tiešo pieskaršanos vai ar izolējošiem apvalkiem.

Motori, kuri netiek pastāvīgi uzraudzīti vai tiek ekspluatēti ar distances vadības slēdžiem, jāapgādā ara motora aizsardzības automātu. Iekārtās ar intensīvu dzīvnieku turēšanu, piemēram, cūku nobarošanas uzņēmumi, ventilatorus nepieciešams sadalīt pa vairākām noplūdes strāvas aizsardzības iekārtām, lai pie viena izolācijas bojājuma netiktu atslēgti visi ventilatori.

**10.12.6. UGUNSBĪSTAMĀS RAŽOTNES.**

Ugunsbīstamajās ražotnēs ir jāaizsargājas pret aizdegšanos no elektriskā loka, izolācijas bojājumiem vai ražošanas elektroiekārtu augstās temperatūras (DIN VDE 0100 daļa 720). Uguns apdraudētās ražotnes ir, piemēram, ogļu apstrādes uzņēmumi, papīrfabrikas, šķidrā kurināmā, ogļu, papīra, siena, salmu noliktavas vai mākslīgās vilnas plucinātavas. Šaubu gadījumā, tarificējot ražotnes kā ugunsbīstamas, jāņem vērā oficiālie priekšraksti, piemēram, arodbiedrību vai mantas apdrošināšanas savienību.

Aizdegšanās novēršanai izolācijas bojājumu gadījumos nepārvietojamām līnijām jāpielieto viens no trijiem sekojošiem pasākumiem. Šie noteikumi jāievēro arī tad, kad līnijas tiek noguldītas caur ugunsnedrošām vietām vai pa ugunsnedrošu sienu virspusēm.

**1. Pārstrāvas aizsardzības ierīču un līniju izvēle.** Saskaņā ar ugunsdzēsības pasākumiem vadītāju šķērsgriezumi jāizvēlas tā, ka, pilna īsslēguma gadījumā līnijas beigās, līnijai pieslēgtā pārstrāvas aizsardzība to atslēdz 5 sekunžu laikā (*I ≥ Ia*, 10.31. att.).

Noguldītām līnijām vai kabeļiem jābūt ar plastmasas apvalkiem NYM, no VPE, piemēram, plastmasas kabelis NYY vai no ERP ( etilēns-propilens-kaučuks).

|  |
| --- |
|  |

10.31. att. Uguns aizsardzība ar pārstrāvas aizsardzības ierīču un līniju izvēli.

**2. Noplūdes strāvas aizsardzības ierīces ar aizsardzības vadītāju.** Elektriskās iekārtas jākontrolē ar noplūdes strāvas aizsardzības ierīcēm ar nominālo noplūdes strāvu IΔn augstākais līdz 0,5 A.Līniju vai kabeļu apvalku iekšpusē jāievieto aizsardzības vadītājs (10.32. att.). Kā aizsardzības vadītāju jāpielieto izolētu dzīslu daudzdzīslu līnijā, izolētu vai kailu vadītāju kopējā apvalkā ar ārējiem vadītājiem un neitrāles vadītājiem, piemēram, guldot kabeļu kanālos vai aizsargcaurulēs vai koncentriskās kabeļu līnijās. Šo pasākumu sevišķa priekšrocība ir tā, ka noplūdes strāvas aizsardzības ierīces vienlaicīgi aizsargā ne tikai pret netiešo pieskaršanos, bet arī pret zemesslēgumiem. Ja zemesslēguma vietā pastāv pretestība, tad tajā veidojas siltuma jauda *P = U⋅I* = 230V⋅0,5A = 115 W.

|  |
| --- |
|  |

10.32. att. Izolācijas kontrole ar noplūdes strāvas aizsardzības ierīci un aizsardzības vadītāju.

Šī siltuma jauda normālā veidā nenoved pie elektriskās aizdegšanās. Noplūdes strāva IΔn ≥ 0,5 A izraisa vispolīgu iekārtas atslēgšanos. Ugunsbīstamās ražotnēs noplūdes strāvas aizsardzības ierīču nominālā noplūdes strāva nedrīkst pārsniegt 0,5 A.

**3. Līniju guldīšana aizsardzības attālumos.** Lai ievērotu līnijas aizsardzības attālumus, apvalka viendzīslu līnijas, viendzīslu kabeļi vai katra PVC - dzīslu līnijas atdalīti jāgulda aizsardzības caurulēs. Kopņu sadales skapis ir līdzvērtīgs guldīšanas veids. Ar nodalīti izolētu līniju guldīšanu novērš izolācijas bijājumus, piemēram, īsslēgumus vai zemesslēgumus.

TN-tīkls no pēdējā sadales skapja ārpus ugunsbīstamās ražotnes arī jāveido kā TN-S-tīkls. Sadales skapja neitrāles vadītāja kopnei jābūt ar šķērsgriezumu līdz 10 mm² varš un jābūt tā izveidotai, ka aizejošo līniju izolācijas pretestība pret zemi var izmērīt neatvienojot neitrāles vadītāju, piemēram, iebūvējot atsevišķas neitrāles vadītāja atdalīšanas spailes (10.33. att.). Ugunsbīstamās ražotnēs līnijas nedrīkst guldīt atklāti, piemēram, uz izolatoriem. Pārvietojamām līnijām jāatbilst vismaz izbūves veidam H07RN-F.

|  |
| --- |
|  |

10.33. att. Ugunsbīstamu ražotņu spaiļu izkārtojuma piemērs sadales skapī.

Motori, kuri tiek slēgti automātiski ilglaicīgi netiek uzraudzīti, jāizsargā ar aizsardzības automātiem. Mašīnām, izņemot darbagaldus ar iebūvētiem motoriem, noteikts aizsardzības veids IP X4, pie šķiedrmateriālu ugunsdrošības briesmām aizsardzības veids IP X5. Instalācijas slēdži, saspraužamās ierīces vai nozarkārbas jāizbūvē ar minimums aizsardzības veidu IP X4. Apgaismes ķermeņu korpusiem jābūt no grūti uzliesmojošiem materiāliem, piemēram, no metāla vai termoizturīgas plastmasas. Telpās, kuras apdraudētas no putekļiem vai šķiedrvielām, apgaismes ķermeņiem nepieciešams aizsardzības veids IP X5.

Ja jārēķinās ar apgaismes ķermeņu mehāniskiem bojājumiem, tad jāpierīko papildus aizsardzības grozs vai aizsardzības apvalks.

**10.12.7. EKSPLOZĪJAS BĪSTAMĀS DARBA ZONAS.**

Eksplozijas bīstamās apgabali ir laukumi brīvā dabā vai telpas, kurās izgatavojot vai pārstrādājot degošas vielas, piemēram, benzīnu, lakas vai pilsētas gāzi, kas veido tvaikus vai gāzi. Tie savienojumā ar gaisa skābekli var veidot eksplozīvus maisījumus. Eksplozīvi bīstamu atmosfēru var veidot arī putekļu koncentrācija gaisā. No komutācijas elektriskā loka vai ražošanas elektroiekārtu virsmas paaugstinātas temperatūras eksplozīva atmosfēra var aizdegties.

Pie gāzes, tvaiku vai miglas eksplozīvo apgabalu iedalījuma izšķir zonas 0, 1 un 2, pie bīstamības no eksplozīviem putekļiem izšķir zonas 10 un 11.

**Gāzes, tvaiku un miglas bīstamības zonas.**

**Zona 0:** Apgabals, kurāpastāvīgi vai ilgāku laiku parādās eksplozīva gāze. Tādēļ zonā 0 iespējamību robežās nedrīkst ierīkot nevienu elektrisko iekārtu.

**Zona 1:** Apgabals, kurā eksplozīva atmosfēra pastāv tikai gadījuma pēc. Zonā 1 drīkst ievietot ražošanas elektroiekārtas, kuras aizsardzības veids pret aizdegšanos izpildīts atbilstoši tabulai 3.

**Zona 2:** Apgabals, kurā eksplozīva atmosfēra pastāv reti un īslaicīgi. Zonā 2 atļauts uzstādīt ražošanas elektroiekārtas, kuras paredzētas zonām 0 un 1 un arī tās ražošanas elektroiekārtas, kuru piemērotība uzstādīšanai zonā 2 veikta ar izbūves tipveida pārbaudes atestāciju.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 10.14. tabula  **Aizsardzības veids pret aizdegšanos gāzaizsargātām un eksplozijas aizsargātām**  **ražošanas elektroiekārtām saskaņā ar DIN VDE 0170/171** | | | |
| **Saīsināts**  **apzīmējums** | **Aizsardzības veids pret aizdegšanos** | **Lietošanas piemēri** |
| d | Hermētisks korpuss | Sadales skapji, gaismas ķermeņi |
| e | Paaugstināta drošība | Motori, komutācijas aparāti |
| q | Sprādzienaizsardzība piepildot sprādzienu necaurlaidošu apvalku ar kvarca smiltīm | Kondensatori |
| ia, ib | Dzirksteļu drošība | Mēr- un robežvērtību devēji |
| o | Eļļu necaurlaidošs apvalks | Transformatori, kontaktori |
| p | Sprādzienaizsardzība piepildot sprādzienu necaurlaidošu korpusu ar paaugstināta spiediena gāzi | Sadales skapji, motori |

**Degošu putekļu bīstamības zonas**.

**Zona 10:** Apgabals, kurā eksplozīva atmosfēra pastāv bieži vai ilglaicīgi. Zonā 10 drīkst uzstādīt ražošanas elektroiekārtas, kuru piemērotība uzstādīšanai zonā 10 veikta ar izbūves tipveida pārbaudes atestāciju.

**Zona 11:** Apgabals, kurā eksplozīva atmosfēra pastāv nejauši vai īslaicīgi, piemēram, rodas putekļu uzvirpošanas rezultātā. Zonā 11 nav nepieciešama izbūves tipveida pārbaudes atestācija.

Ražošanas elektroiekārtu ārējās virsma temperatūra nedrīkst pārsniegt vērtības, kuras rezultātā var notikt uzvirpuļojošo putekļu aizdegšanās. Saspraužamās ierīces vienmēr jānovieto tā, ka kontaktdakšu iespraušanas caurumi vērsti uz leju. Štekera iespraušanai vai izvilkšanai jābūt iespējamai tikai bezsprieguma stāvoklī. Šī prasība ir realizējama ar komutācijas aparāta un rozetes kombināciju.

**Ražošanas elektroiekārtu apzīmējumi.**

Gāzaizsargātas ražošanas elektroiekārtas apzīmē ar **EExI**, eksplozijas aizsargāta ražošanas elektroiekārtas apzīmē ar **EExII**. Aizsardzības veidu apzīmējumus veido ar mazajiem burtiem (7.13. tabula). Papildus tiek norādīts temperatūras klases apzīmējums (10.15. tabula), eksplozijas grupa un aizsardzības pret svešķermeņiem un ūdens.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10.15. tabula  **Temperatūras klases un visaugstāk pieļaujamā ārējās virsmas temperatūra**  **saskaņā ar DIN VDE 0165** | | | | | | |
| Temperatūras klase | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Visaugstāk pieļaujamā ārējās virsmas temperatūra °C | 450 | 300 | 200 | 135 | 100 | 85 |
| Degošo vielu aizdegšanās temperatūra °C | > 450 | > 300 | > 200 | >135 | > 100 | > 85 |

**10.12.8. MEDICĪNISKI IZMANTOTAS TELPAS.**

Kā medicīniski izmantotas telpas apzīmē telpas, kurās tiek realizēta cilvēku un dzīvnieku medicīniskā izmeklēšana, masāža, ārstēšana.

Pēc telpu izmantošanas veida medicīniski izmantotās telpas iedala pielietojuma grupās (AWG) (10.16. tabula).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 10.16. tabula  **Medicīniski izmantoto telpu pielietojuma grupas un aizsardzības pasākumi tajās.** | | |
| **Pielietojuma grupa (AWG)** | **Piemēri** | **Aizsardzības pasākumi** |
| AWG 0 | Gultu telpas,  operāciju – mazgājamā telpas,  sterilizācijas telpas | Aizsardzības izolēšana, aizsardzības zemspriegums, noplūdes strāvas aizsardzības ierīces IΔn ≤ 30 mA |
| AWG 1 | Prakses telpas, dzemdību telpas,  intensīvās izmeklēšanas telpas,  ķirurģiskās ambulances | Aizsardzības izolēšana, aizsardzības zemspriegums līdz 25 V, noplūdes strāvas aizsardzības ierīces IΔn ≤ 30 mA\*, IT - tīkls |
| AWG 2 | Operāciju un sagatavošanas telpas, pamošanās telpas,  Intensīvās ārstēšanas stacijas,  endoskopijas telpas | Aizsardzības izolēšana, aizsardzības zemspriegums līdz 25 V,  noplūdes strāvas aizsardzības ierīces IΔn ≤ 30 mA\*, IT - tīkls |
| \* Noplūdes trāvas aizsardzības atslēgšanas laikam jābūt mazākam par 40 msek. | | |

**AWG 0** telpās drīkst lietot tikai no tīkla barojamus medicīniskos elektroaparātus. Pieļaujams ievietot aparātus, kurus atļauts pielietot arī telpās bez medicīniskās pielietošanas.

**AWG 1** telpās drīkst realizēt izmeklēšanu vai ārstēšanu tikai ar medicīniskiem aparātiem, kurus baro no tīkla un kuri pie strāvas apgādes pārtraukuma pārtrauc vai atkārto savu darbību bez briesmām pacientiem, piemēram, sirdsdarbības pārbaude pie slodzes ar elektrokardiogrāfu (EKG).

**AWG 2** telpās realizē izmeklēšanu vai ārstēšanu, kuru nedrīkst pārtraukt bez pacientu dzīvības vai veselības briesmām. Tādēļ tur nedrīkst strāvas ķēdes atslēgties pie pirmā savienojuma ar korpusu. Tādēļ apgādes tīkls jārealizē kā IT-tīkls ar izolācijas kontroli. Tīkla pārtraukuma gadījumā jāpārslēdzas uz īpašu avārijas strāvas apgādi (BEV).

Tabulā 1 uzrādītas aizsardzības pasākumu pielietojuma grupas.

Elektroinstalācijai telpās, kurās tiek mērītas ķermeņa rīcības spējas, piemēram, elektrokardiogrammas un operāciju telpas, jārealizē tā, lai tikla normālās darbības traucējumi netiktu no tāluma pārvadīti uz medicīniskām elektromēriekārtām. Šo prasību var izpildīt, pielietojot līnijas ar vadītspējīgiem, ekranizējošiem apvalkiem vai guldot tās metāliskos instalācijas kanālos. Vadītspējīgos līniju apvalki vai instalācijas kanāli posmi jāsavieno savstarpēji un ar potenciāla izlīdzināšanas vadītāju, piemēram, ar lodētiem stiepļu savienojumiem vai sametinot. Ekranizēto līniju guldīšanu var neveikt, ja aizsargājamo telpu sienās, griestos un grīdās izolēti ieguldīts folijas ekrāns.

AWG 2 telpās drīkst guldīt tikai tās līnijas un kabeļus, kas paredzēti šo telpu elektroapgādei. Plakanie vadi nav pieļaujami. Strāvas ķēžu sadales skapjus var novietot ārpus medicīniski izmantotām telpāmun tā jābūt katrā laikā viegli pieejamām. Strāvas ķēdes, kas nav paredzētas medicīniski izmantotām telpām, jāmontē atsevišķā sadales skapī. Abus sadales skapjus var ievietot vienā kopējā korpusā, ja abas daļas ir nodalītas ar starpsienu vai katram sadales skapim ir atsevišķs aizsardzības korpuss. Izolācijas pretestības pārbaudei jāiebūvē tīkla neitrāles atdalīšanas spailes.

Ekspluatējot IT-tīklu AWG 2 telpās, katrai telpai jāparedz minimums viens transformators. Transformatoram jābūt ar dalītiem tinumiem un izveidotam ar pastiprinātu izolāciju. Sekundārās puses nominālais spriegums nedrīkst pārsniegt 230 V.

**Izolācijas kontrole.** Medicīniski izmantotās telpāskatram instalētajam IT-tīklam jāparedz izolācijas kontroles ierīce ar maiņstrāvas iekšējo pretestību minimums 100 kΩ. Ja izolācijas pretestība pazeminās zem vērtības 50 kΩ, tad jānostrādā optiskajam un akustiskajam signāliem. Akustisko signālu drīkst pārtraukt, bet optiskajam signālam (dzeltena spuldzīte) jāpastāv līdz izolācijas bojājuma novēršanas beigām.

Strāvas ķēdes, kuras pie pirmā izolācijas bojājuma netiek atslēgtas, jāapgādā ar IT-tīkla izolācijas kontroles ierīci.

1. un 2. pielietojuma grupas telpās strāvas apgādes pārtraukuma gadījumā minimums operāciju apgaismes ķermeņi un visas ierīces dzīvībai nozīmīgu ķermeņa funkciju saglabāšanai, piemēram, reanimācijas aparāti jāturpina apgādāt ar atsevišķu avārijas strāvas apgādi (BEV). Operāciju apgaismojuma pieļaujamais atslēguma laiks nedrīkst pārsniegt 0,5 sek., bet visām pārējām ierīcēm 15 sek. Rozetes, kuras jāturpina barot n atsevišķa avārijas strāvas avota, jāapzīmē ar attiecīgi jāapzīmē. Atsevišķās avārijas strāvas apgādei nepieciešamie ģeneratori un pusvadītāju taisngrieži jānovieto ārpus medicīniski izmantotām telpām.

Medicīniski izmantoto telpu atsevišķai avārijas strāvas apgādei jābūt minimums ar trīs stundu darbības ilgumu.

|  |
| --- |
| Operaciju telpa |

10.34. att. Medicīniski izmantotās telpas potenciāla izlīdzināšana.

Medicīniski izmantotās telpās jāierīko atsevišķa potenciāla izlīdzināšana, pie kuras jāpievieno visas vadītspējīgās daļas un kuru pretestībai pret aizsardzības vadītāju jābūt mazākai par 7 kΩ. AWG telpās visa vadītspējīgās metāla daļas augstumā līdz 2,5 m ap sagaidāmajām pacientu pozīcijām jāpievieno potenciāla izlīdzināšanai, ja pretestība pret aizsardzības vadītāju ir mazāka par 2,4 MΩ. Potenciāla izlīdzināšanas līnijām dzīslu krāsa noteikta zaļi dzeltena. Potenciāla izlīdzināšanas līnijām jābūt ar minimums 500 V izolāciju un minimālo šķērsgriezumu 6 mm² varš. Tās katra atsevišķi ar atvienošanas iespēju jāpieslēdz pie potenciāla izlīdzināšanas kopnes un jāapzīmē ar izturīgu apzīmējumu. Katrā korpusā potenciāla izlīdzināšanas kopne jānovieto kopā ar aizsardzības vadītāja kopni. Savienojumam starp potenciāla izlīdzināšanas kopni un aizsardzības vadītāja kopni jābūt ar šķērsgriezumu minimums 16 mm² varš. Potenciāla izlīdzināšanas efektivitāte ir jāpamato ar mērījumiem. Pretestība starp potenciāla izlīdzināšanas kopni un piesaistītām daļām nedrīkst pārsniegt 0,2 Ω. medicīniski izmantotajās telpās elektriskās iekārtas jāpārbauda speciālistam minimums vienu reizi 2 gados. Izolācijas kontroles aparāti un noplūdes strāvas ierīces jāpārbauda apmācītai personai ar pārbaudes taustiņu palīdzību minimums vienu reizi pusgadā. Atsevišķās avārijas strāvas apgādes iekārtas funkcionēšana jāpārbauda minimums vienu reizi mēnesī ar 50 % slodzi 15 minūtes ilgi. Pārbaužu rezultāti jāsaglabā pārbaužu žurnālā.

**10.12.9. TELPU VEIDU UN DARBA ZONU APSKATS.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 10.17. tabula  **Telpu veidi, darba zonas un īpaši norādījumi** | | | |
| **Telpas veids** | **DIN VDE** | **Sevišķi jāievēro** | **Piemēri** |
| **1** | **2** | **3** | **4** |
| Elektriskās  darba zonas | 0100  daļa 731 | Ierīces var apkalpot tikai apmācītas personas | Slēgtelpas, pārbaudes stendi, elektrostaciju mašīnzāles |
| Slēgtās elektriskās darba zonas | 0100  daļa 731 | Atslēgu drīkst atslēgt tikai pilnvarotas personas. Piekļūšana atļauta tikai apmācītam personālam. | Slēgtās un sadales iekārtas, transformatoru celles |
| Sausas telpas | 0100  daļa 200 | Telpas un vietas, kurās nerodas kondensāta ūdens. Elektriskām ražošanas iekārtām jābūt ar pieskares aizsardzību IP X2. | Dzīvojamās telpas, viesnīcu telpas, biroja telpas, apkurināmas un vēdināmas pagrabtelpas |
| Mitri un slapji apgabali un telpas, iekārtas brīvā dabā | 0100  daļa 737 | Ražošana elektroiekārtām jābūt ar pilienu aizsardzību minimums IP X1, telpās ar ūdens izsmidzināšanu un ūdens strūklām aizsardzība IP X5. Guldīt tikai mitro telpu līnijas. | Skalošanas virtuves, mazgāšanas virtuves, lopbarības virtuves, ceptuves, alus pagrabi, siltumnīcas, mitras darbnīcas |
| Telpas ar vannu vai dušu | 0100  Daļa 701 | Zonās 0, 1 un 2 nedrīkst ierīkot rozetes vai slēdžus, zonā 3 tikai rozetes aiz atdalīšanas transformatora vai noplūdes strāvas aizsardzības ar IΔn ≤ 30 mA. Cauri nedrīkst guldīt citu telpu līnijas. Jārealizē vietējā potenciāla izlīdzināšana | Mazgāšanās telpas, dzīvojamās mājas, hoteļi un sporta halles, kurās ir uzmontētas rūpnīcu ražotās dušu kabīnes. |
| **1** | **2** | **3** | **4** |
| Būvlaukumu elektroiekārtas | 0100  Daļa 704 | Strāvas apgāde tikai no īpašiem barošanas punktiem, piemēram, būvniecības strāvas sadales. Nepieciešams galvenais slēdzis. Noplūdes strāvas aizsardzība ar IΔn ≤ 30 mA rozetēm līdz 16 A, pērējiem IΔn ≤ 0,5 A. | Jaunbūves, korpusu pārbūves vai to daļu nojaukšana |
| Lauksaimniecības vai dārzu būves lauku īpašumos | 0100  Daļa 705 | Iekārtām jābūt atslēdzamām ar galveno slēdzi, noplūdes strāvas aizsardzības ierīces ar IΔn ≤ 0,5 A. rozešu strāvas ķēdēm IΔn ≤ 0,03 A. Pieskares spriegums AC 25 V, DC 69 V. Jārealizē potenciāla izlīdzināšana un kūtīs potenciāla regulēšana. | Lauksaimniecības lauku īpašumi, kūtis, šķūņi, dārzu būves |
| Ugunsbīstamība darba vietās | 0100  Daļa 720 | No sadales skapja līdz ugunsbīstamām darba vietām jāierīko: TN-S-tīkls, ugunsaizsardzība izvēloties pārstrāvas aizsardzības ierīces un līnijas. Noplūdes strāvas aizsardzība ar aizsardzības vadītāju vai līniju guldīšana ar drošības attālumiem. | Darba telpas, noliktavu telpas, tekstila un koka apstrādes telpas, siena, salmu un papīra noliktavas` |
| Medicīniski izmantotas telpas | 0107 | Telpu iedalījums grupās 0, 1 un2. Pieļaujamie aizsardzības pasākumi: aizsardzības izolēšana, aizsardzības spriegums līdz 25 V, noplūdes strāvas aizsardzība IΔn ≤ 30 mA, IT-tīkls ar izolācijas kontroli. AWG 2 telpās nedrīkst guldīt citu telpu līnijas un nedrīkst pielietot pārvietojamās līnijas. Nepieciešama īpaša potenciāla izlīdzināšana. | AWG 0:piemēram, guļamtelpas, mazgāšanās telpas, pirtis  AWG 1: piemēram, poliklīnikas, izmeklēšanas telpas  AWG 2: piemēram, operāciju un operāciju sagatavošanas telpas, intensīvās terapijas nodaļas |
| Eksploziju bīstami apgabali | 0165  0170/171 | Apgabalus ar eksplozīvām gāzēm, tvaikiem vai miglas iedala zonās 0,1 un 2. Apgabalus ar eksplozīviem putekļiem iedala zonās 10 un 11. Ražošanas elektroiekārtas eksploziju bīstamiem apgabaliem jāpakļauj būvniecības tipveida pārbaudēm un īpaši jāapzīmē. | Degvielas noliktavas un degvielas uzpildes iekārtas, lakošanas iekārtas, sintētisko pulvera, cukura, labības noliktavas |

**LITERATŪRAS SARAKSTS**

1. Arājs R., Staltmanis I. Elektriskie sadales tīkli. — R.: Liesma, 973. - 313 lpp.
2. Arājs R., Staltmanis I. Elektroiekārtas un to ekspluatācija. — R.: Liesma, 1977. — 258 lpp.
3. Baltiņš A.Lauksaimniecības elektroapgāde. — R.: Zvaigzne, 1982. — 365 lpp.
4. Baltiņš A., Kanbergs A., Miesniece S. Zemsprieguma elektriskie aparāti. – R.: Jumava, 2003. – 331 lpp.
5. Barkāns J. Elektrisko sistēmu projektēšana. R.: RTU, 2006. – 164 lpp.
6. Barkāns J. Kā taupīt enerģiju un saudzēt vidi. – R.: Bota, 1997. -369 lpp.
7. Darba aizsardzības rokasgrāmata. 1. d. Patērētāju elektroiekārtu tehniskas ekspluatācijas noteikumi un patērētāju elektroiekārtu ekspluatācijas drošības tehnikas noteikumi. — R.: Liesma, 1977. — 374 lpp.
8. Drošības prasības, veicot darbus elektroietaisēs. — R.: LEK 025, 2001. – 96 lpp.
9. Elektroietaisēs lietojamo elektroaizsardzības līdzekļu izmantošana un pārbaude 1. 2.daļa. LEK 056-1, 2003. – 24 lpp.
10. Elektroietaisēs lietojamo elektroaizsardzības līdzekļu izmantošana un pārbaude 2.daļa. LEK 056-2, 2003. – 28 lpp.
11. Elektrosadalņu tehniskais katalogs. – R.: A/S Energofirma „Jauda”, 2004. – 144 lpp.
12. Elektrostaciju, tīklu un lietotāju elektroietaišu tehniskā ekspluatācija. – R.: LEK 002, 2000. – 224 lpp.
13. Energoapgāde /Gerharda J. red.. – R.: Zvaigzne, 1989. — 329 lpp.
14. Laganovskis J. Enerģētika. – R.: Zvaigzne, 1972. – 399 lpp.
15. Putniņš J. Elektroapgādes iekārtu aizsardzība un automātika. — R.: Zvaigzne, 1973. — 487 lpp.
16. Schneider Electric produkcijas katalogs. Zemsprieguma iekārtas. R.: 2004. – 80 lpp.
17. Mājsaimniecības rokasgrāmata. - R.: Schneider Electric 2004. – 12 lpp.
18. Zviedris A. Elektriskās mašīnas. — R.: Zvaigzne, 1984. — 367 lpp.
19. Timmermanis K., Rozenkrons J. Elektrisko staciju un apakšstaciju elektriskā daļa. R.: Zvaigzne, 1988. – 421 lpp.
20. ABB Kabeldon cable accessories 1-420 kV. 2005. - [www.abb.se/kabeldon](http://www.abb.se/kabeldon).
21. ABB control gear. - [www.abb.com/lowvoltage](http://www.abb.com/lowvoltage).
22. ABB circuit breakers. Technical catalog. - www.abb.com.
23. Busbar trunking system. – Brescia: Zucchini Group, 2002. – 46 lpp.
24. Bussmann low voltage high speed fuses. – [www.cooperbussmann.com/ product](http://www.cooperbussmann.com/%20product).
25. Gewiss technical catalogue. – www.gewiss.com.
26. Guide to protection by residual current devices. – Legrand SNC, 1998.
27. DeWind. FKI Energy Tecnology. – www.dewind.de.
28. Hager katalogs. – www.hager.lv.
29. Helukabel catalog. – [www.helukabel.de](http://www.helukabel.de).
30. Lovato Electric General Catalogue 2003-2004. – [www.lovatoelectric.com](http://www.lovatoelectric.com).
31. Moeller technical catalogue 2004. – www.moeller.com.

32. Правила устройства электроустановок. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 640 с.

33. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования /Под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е.Федорова, М.Г.Зименкова, А.Г.Смирнова. — М.: Энергоатомиздат, 1991.—464 с.

34. Справочник по проектированию электрических систем / Под ред. С.С. Рокотяна, И.М. Шапиро. — М.: Энергия, 1971. — 248 с.

35. Мельников Н.А. Электрические сети и системы. — М.: Энергия, 1975. — 464 с.

36. Радкевич В. Н. Проектирование систем электроснабжения. – Минск: НПООО «ПИОН», 2001. – 287 c.

37. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. - 214 с.

38. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006 – 248 с.

39. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. - М.: Издательство «Мастерство», 2002. - 320 с.

40. Абрамова Е.Я., Алешина С.К., Чиндяскин В.И. Расчет понизительной подстанции в системах электроснабжения: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. - 91 с.

41. Акимова Н. А., Котеленец Н.Ф., Сентюрихин Н.И. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования : учеб пособие для стул. сред, проф. образования - М. : Издательский центр «Академия», 2008. - 304 с.

42. Ус А.Г., Евминов Л.И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий : Учебное пособие. - Мн.:НПООО «ПИОН», 2002. - 457 с.

43. Александров Г.Н. Молния и молниезащита. - М. : Наука, 2008. - 274 с.

44. Маньков В. Д., Заграничный С. Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник. — СПб.: Политехника, 2005. — 400 с.

45. Куликов, Ю. А. Переходные процессы в электрических системах. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. - 284 с.

46. Харечко В.Н. Электроустановки индивидуальных жилых домов. Справочник. — М.: ЗАО «Энергосервис», 2004. — 496 стр.

47. Киреева Э.А., Гусев Л.В., Харитон А.Г., Чохонелидзе А.Н., Цырук С.А. Справочник электрика. - М.: Колос, 2007. — 464 с.

48. Цигельман И. Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий. - М.: Высш. Школа. 1988.­ – 319 с.

49. Каталог Moeller 2004. Инсталляционные приборы и распределительные щиты. – [www.moeller.ru](http://www.moeller.ru).

50. Каталог National Electric. – [www.nationalelectric.ru](http://www.nationalelectric.ru).