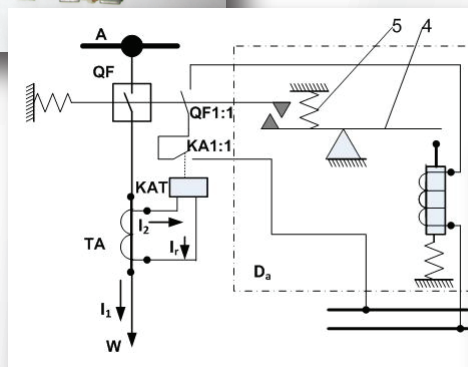
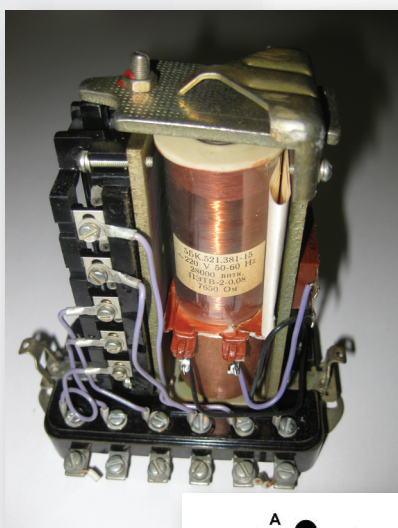


IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ !

Ivo Grīnbergs
Gunārs Kaļčevs
Gunārs Kacēns
Jānis Kreilis
Ivans Pračs
Vladimirs Šults

MĒRLĪDZEKĻI UN RELEJU AIZSARDZĪBA



2012



Projekts: "Rīgas Valsts tehnikuma
sākotnējās profesionālās izglītības
programmu īstenošanas kvalitātes
uzlabošana"

Vienošanās numurs: 2010/0106/1DP/1.2.1.1.3/09/APIA/VIAA/047

Ievads

Mācību palīglīdzeklis paredzēts elektrozinību profila elektrisko sistēmu un elektroapgādes novirzienu studentiem, elektrisko tīklu un sistēmu, un elektrisko sistēmu automatizācijas specializācijas inženieriem, kā arī citu elektrozinību specialitāšu studentiem. Tajā par releju aizsardzību, automātiku, tīkla neitrāles darba režīmiem, kompensācijas iekārtām un to automātiku, mērlīdzekļiem un elektroenerģijas uzskaites iekārtām doti termini, definīcijas un atsauces uz Eiropas un Latvijas normatīvajiem dokumentiem. Mācību palīglīdzeklī uzrādītas praksē izmantojamās formulas, kā arī sniegts ieskats par tipveida aprēķiniem, izmantojot elektroniskās tabulas. Mācību palīglīdzeklī detalizēti aprakstītas vidējā sprieguma sadales tīklā izmantotās releju aizsardzības un automātikas iekārtas, dispečervadības sistēmas, kā arī aplūkoti 0,4kV-20kV tīklā izmantotie mērmaiņi, pārbaudes iekārtas, mērinstrumenti, elektroenerģijas uzskaites iekārtas, sniegta vispusīga informācija par iekārtu apkalpošanu un iesaistītā personāla pienākumiem, veicot ekspluatācijas darbus saskaņā ar Latvijas Energostandartu LEK 002.

Mācību palīglīdzeklis tapis ar ESF atbalstu projekta "Rīgas Valsts tehnikuma sākotnējās profesionālās izglītības programmu īstenošanas kvalitātes uzlabošana" ietvaros.

Vienošānās numurs: 2010/0106/1DP/1.2.1.1.3/09/APIA/VIAA/047

Saturs

1.Terminu un saīsinājumu skaidrojums.	2
2.Releju aizsardzība un automātika	9
2.1.Vidsrieguma tīklā izmantojamās releju aizsardzības un automātikas darbības pamatprincipi	9
2.2.Elektromehāniskie releji	13
2.2.1.Tiešās darbības primārie releji	13
2.2.2.Tiešās darbības sekundārie releji	15
2.2.3.Netiešās darbības releji	16
2.2.4.Laika releji	22
2.2.5.Starpreleji	24
2.2.6.Signālreleji	25
2.2.7.Termoreleji	26
2.2.8.Gāzes releji	26
2.2.9.Releju aizsardzības komplekts KZ-12	30
2.2.10.Automātiskās atkārtotās ieslēgšanas (AAI) komplekts RPV-258	32
2.3.Digitālās releju aizsardzības iekārtas	33
2.3.1.Digitālo releju attīstība	33
2.3.2.Digitālo releju struktūra	35
2.4.Latvijā populārākie vidējā sprieguma digitālie releji	37
2.5.Digitālo releju pārbaudes	42
2.5.1.Pārbaužu veidi un to iedalījums	42
2.5.2.Projektēšanas un ražošanas pārbaudes	42
2.5.2.1.Elektriskās pārbaudes	42
2.5.2.2.Elektromagnētiskās savietojamības pārbaudes	43
2.5.2.3.Produkcijas drošuma pārbaudes	44
2.5.2.4.Apkārtējās vides ietekmes pārbaudes	44
2.5.2.5.Programmatūras pārbaudes	45
2.5.2.6.Programmatūras modifikāciju pārbaudes	46
2.5.3.Pārbaudes pirms pieņemšanas ekspluatācijā	46
2.5.4.Periodiskās pārbaudes	47
2.6.Releju aizsardzības sekundārās pārbaudes iekārtas	48
2.6.1.Firmas „Programma” sekundārā pārbaudes iekārta FREJA 300	49
2.6.1.1.FREJA 300 tehniskie dati	51
2.6.1.2.FREJA 300 pievienojumi	51
2.6.2.OMICRON TEST UNIVERSE sekundārā pārbaudes iekārta	52
2.6.2.1.CMC 256 komutācijas un to specifikācijas	53
2.6.2.2.OMICRON TEST UNIVERSE programmatūra	56
2.6.2.3.OMICRON TEST UNIVERSE pārbaudes apakšprogrammas	57

2.7.Sadales tīklā lietotās releju aizsardzības un automātikas veidi.	59
2.7.1.Transformatoru aizsardzība	59
2.7.1.1.Momentānā strāvas aizsardzība	60
2.7.1.2.Diferenciālā strāvas aizsardzība	61
2.7.2.Vidējā sprieguma tīkla aizsardzības un automātika	63
2.7.2.1.Maksimālās strāvas aizsardzība un tās laika kavējuma izvēle	63
2.7.2.2.Maksimālās strāvas aizsardzība pret pārslodzi	66
2.7.2.3.Momentāna strāvas aizsardzība	67
2.7.2.4.Automātiskā atslodze pēc frekvences	69
2.7.2.5.Automātiskā atkārtotā ieslēgšana (AAI)	70
Kontroljautājumi 2. nodaļai.	72
3.Neitrāles darba režīmi vidējā sprieguma tīklos Latvijas enerģosistēmā.	73
3.1.Tīkls ar izolētu neitrāli	76
3.2.Tīkls ar kompensētu neitrāli	79
3.3.Tīkls ar zemomīgu rezistoru neitrālē	84
Kontroljautājumi 3. nodaļai.	87
4. Dispečervadības sistēmas (DVS)	87
4.1.Dispečervadības sistēmas sastāvdaļas.	88
4.1.1. Kontrolpunkta aparatūra (KP)	88
4.1.2. Centrālā sistēma	89
4.1.3. Sakaru nodrošināšana ar DVS objektiem	91
4.2.Lokālās un centralizētās dispečervadības sistēmas	92
4.3.DVS iekārtu savietojamība	92
4.4.SIA „Arcus Elektronika ” DVS „Telemiks”	92
4.5.SIA „Arcus Elektronika ” DVS „Telemiks-2”	93
4.6.Somijas firmas „Netcontrol OY” dispečervadības sistēma „Netcon 3000”	94
4.7.Dispečervadības sistēmas iekārtu ekspluatācija.	95
Kontroljautājumi par 4. nodaļu.	97
5.Mērmaiņi.	97
5.1.Spriegummaiņi un to ekspluatācija.	98
5.2.Strāvmaiņi, to ekspluatācija.	100
Kontroljautājumi par 5. nodaļu	103
6.Elektroenerģijas uzskaitē	104
6.1.Elektroenerģijas uzskaites pirmsākumi.	104
6.2. Elektroenerģijas skaitītāja uzbūve un darbības principi	106
6.2.1.Elektroenerģijas skaitītāju iedalījums	106
6.2.2.Elektromehāniskais (indukcijas tipa) skaitītājs	107
6.2.3.Elektroniskais skaitītājs	109
6.2.4.Daudzfunkciju skaitītāji un to funkcijas	113

6.2.5.Vienotie skaitītāju protokoli un standarti,to priekšrocības un ieviešanas problēmas	114
6.2.6.Standarti un metroloģiskās prasības elektroenerģijas skaitītājiem un mērmaiņiem	115
6.2.7.Prasības uzskaites iekārtu precizitātei	117
Kontroljautājumi 6.2. nodaļai.	119
6.3.Elektroenerģijas uzskaites veidi un to ierīkošana	119
6.3.1.Elektroenerģijas uzskaites veidi, elektroenerģijas komercuzskaites jēdziens	119
6.3.2.Elektroenerģijas uzskaites izbūves pamatprincipi	120
6.3.3.Uzskaites sastāvdaļas	120
6.3.4.Uzskaites izbūves pamatprincipi	123
Kontroljautājumi 6.3. nodaļai.	130
6.4.Prasības elektroenerģijas uzskaites ekspluatācijai.	131
6.4.1.Pamatprasības darba organizācijai un personālam	131
6.4.2.Prasības darbu veikšanai ar elektroenerģijas skaitītājiem	132
6.4.3.Uzskaites ekspluatācijas darbi un to periodiskums	133
6.4.4.Ar uzskaites iekārtu ekspluatāciju saistītā dokumentācija	134
6.5.Uzskaites aizsardzība pret nesankcionētu iejaukšanos	134
6.6.Neuzskaitītās enerģijas gadījumi, pārrēķina veikšanas kārtība	137
Kontroljautājumi 6.4., 6.5. un 6.6. nodaļām.	138
7.„Viedās” elektroenerģijas uzskaites jēdziens un pamatprincipi	138
7.1.Eiropas savienībā izvirzītās prasības attiecībā uz energoresursu taupīšanu un klientu informētību	138
7.2.Ieskats viedās uzskaites un viedo tīklu tehnoloģijās	140
7.3.Ieskats datu nolasīšanas un apstrādes tehnoloģijās	143
7.4.Radio tīkli	144
7.5.Datu pārraide, izmantojot elektrotīklu (PLC)	148
Kontroljautājumi 7. nodaļai.	150
Izmantotā literatūra.	151

1. Terminu un saīsinājumu skaidrojums.

1.1. **AAI** – automātiskā atkārtotā ieslēgšana.

1.2. **apakšstacija** – elektrotīkla sastāvdaļa, kas parasti sastāv no sadalietaisēm, pārveidotājiem, būvēm, pienākošo un aizejošo līniju ievadkonstrukcijām, aizsardzības un vadības ierīcēm.

1.3. **AS „Latvenergo” (Latvenergo)** – akciju sabiedrība „Latvenergo” ar tās meitas sabiedrībām AS ”Sadales tīkls”, AS „Latvijas elektriskie tīkli”.

1.4. **atļautā slodze** – lielākā vienlaicīgā elektriskā slodze, ko lietotājs drīkst izmantot saskaņā ar pieslēguma tehniskajiem parametriem. Atļauto maksimālo slodzi ierobežo ievadaaizsardzības aparāts vai līgumā noteiktās elektriskās slodzes lielums.

1.5. **augstspriegums** – elektroietaisies nominālais darba spriegums virs 1000V maiņsprieguma vai 1500V līdzsprieguma.

1.6. **automatizētā uzskaites sistēma** – datorizēta elektroenerģijas skaitītāju datu iegūšanas un apstrādes sistēma, izmantojot sakaru kanālus.

1.7. **DVS** - dispečervadības sistēma - tehnisku un programmisku risinājumu kopums, ar kura palīdzību iespējams attālināti kontrolēt un vadīt pieslēgtos objektus, uzkrāt un analizēt iegūtos datus. Iepriekš izdotajā tehniskajā literatūrā un internetā izmantots saīsinātais apzīmējums SCADA.

1.8. **DVS objekts** - DVS pieslēgto elementu kopums, kas ģeogrāfiski atrodas vienuviet un ir definēts zem viena nosaukuma (apakšstacija, sadales punkts, fīderu punkts, atsevišķi stāvošs jaudas slēdzis vai tml.).

1.9. **DVS atslēgums** - plānots un iepriekš saskaņots DVS vai tās daļas darbības pārtraukums, kura rezultātā dispečeram nav iespējams izmantot DVS paredzētajos apjomos.

1.10. **DVS bojājums** - neplānots DVS vai tās daļas darbības pārtraukums, kura rezultātā dispečeram nav iespējams izmantot DVS paredzētajos apjomos.

1.11. **DVS defekts** - trūkums, nepilnība DVS darbībā, konfigurācijā un tml., kas tiešā veidā netraucē dispečera darbu, bet nenovēršot to, var kļūt par DVS bojājumu.

1.12. **DVS objekta kompleksā pārbaude** – DVS pārbaude, kuras laikā notiek pilnīgi visu konkrētā objekta DVS pieslēgto elementu funkcionalitātes pārbaude sadarbībā ar DVS.

1.13. **DVS pārbaude** - DVS vai tās daļas vizuāla un (vai) funkcionāla pārbaude ar mērķi atklāt varbūtēju DVS bojājumu vai defektu.

1.14. **elektroenerģijas lietotājs (lietotājs)** – fiziska vai juridiska persona, kas no energoapgādes uzņēmumiem pērk un savām vajadzībām patērē elektroenerģiju vai lieto to energoapgādē vai cita veida komercdarbībā.

1.15. **elektroenerģijas ražotājs** – fiziska vai juridiska persona, kura ražo elektroenerģiju.

- 1.16. **elektroenerģijas sistēmas operators (sistēmas operators)** – licencēta kapitālsabiedrība, kura sniedz sistēmas pakalpojumu.
- 1.17. **elektroenerģijas sadale** – elektroenerģijas transportēšana, kas neietver elektroenerģijas tirdzniecību, vidēja un zema sprieguma sadales sistēmā, lai to piegādātu elektroenerģijas lietotājiem.
- 1.18. **elektroenerģijas sistēmas dalībnieki** – elektroenerģijas ražotāji, pārvades sistēmas operators, sadales sistēmas operatori un galalietotāji.
- 1.19. **elektroenerģijas uzskaites mērāparāts** (elektroenerģijas uzskaites, skaitītājs) – mērīšanas līdzeklis vai mērīšanas līdzekļu sistēma elektroenerģijas daudzuma un pakalpojumu uzskaites norēķinu vajadzībām, kā arī elektriskās slodzes lieluma fiksēšanai tirdzniecības intervālā.
- 1.20. **elektroiekārta** – jebkura iekārta elektroenerģijas ražošanai, pārveidei, pārvadei, sadalei vai patēriņam.
- 1.21. **elektroietaise** – vairākas savstarpēji saistītas elektroiekārtas vienotu uzdevumu veikšanai.
- 1.22. **elektroietaišu piederības robeža** – līgumā noteikta robeža starp sistēmas operatora un lietotāja vai ražotāja elektroietaisēm vai starp lietotāja un apakšlietotāja elektroietaisēm.
- 1.23. **elektrotīkls** – elektroapgādes sistēmas daļa, ko izmanto elektroenerģijas pārvadei un sadalei un kas sastāv no savstarpēji savienotām elektropārvades līnijām un elektroiekārtām (piemēram, apakšstacijām, sadales punktiem, elektrosadalnēm).
- 1.24. **elektrotīkla pieslēgums** – elektrotīkla daļa elektroenerģijas pievadīšanai lietotājam vai elektroenerģijas saņemšanai no ražotāja.
- 1.25. **energosisstēma** – elektrostaciju, elektrotīklu, siltumtīklu un energopatērētāju kopums, kas saskaņoti ražo, pārveido, pārvada, sadala un patērē elektrisko un siltuma enerģiju.
- 1.26. **gaisvadu elektrolīnija** – elektrolīnija, kuras vadi nostiprināti balstos uz izolatoriem, vai piekarkabeļi noteiktā augstumā virs zemes.
- 1.27. **GPRS (General Packet Radio Service)** – datu pārraides tehnoloģija GSM mobilo sakaru tīklā, kas izmanto pakešu komutācijas principu.
- 1.28. **GSM** – otrās paaudzes mobilo sakaru tīkls.
- 1.29. **ievads** – lietotāja elektroietaises daļa no elektroietaišu piederības robežas līdz elektroenerģijas uzskaites.
- 1.30. **kabeļlīnija** – elektrolīnija, kas izveidota ar īpašu izolētu vadu – kabeli un instalēta zemē, ēkas sienās, kabeļkanālos, kabeļcaurulēs un tml.
- 1.31. **ievadaizsardzības aparāts** – plombējams ievada drošinātājs(i) vai automātslēdzis, kas paredzēts Lietotāja izmantojamās slodzes ierobežošanai.
- 1.32. **mājsaimniecības lietotājs** – galalietotājs, kurš pērk un izlieto elektroenerģiju mājsaimniecībā savām vajadzībām (galapatēriņam), izņemot komercdarbības vai cita

veida profesionālās darbības vajadzības.

1.33. **mērmainis** – transformators, kas informāciju par primāro ķēžu lielumiem (strāvu, spriegumu) pievada sekundāro ķēžu mēraparātiem, aizsardzības ierīcēm un/vai vadības ierīcēm. Termins lietojams attiecībā uz strāvmaiņiem un spriegummaiņiem.

1.34. **ODT** – operatīvais datu tīkls.

1.35. **operatīvā apkalpošana** – pasākumu komplekss uzdotā energoietaisies darba režīma uzturēšanai, kas ietver pārslēgumu veikšanu, energoietaisies apskates, slodzes un režīma kontroli, iekārtas sagatavošanu remontam (izvešana no darba, alternatīvas energoapgādes nodrošināšana klientiem, darba vietas sagatavošana, pielaišana pie darba u.c.).

1.36. **operatīvais personāls** – speciāli apmācīts un praktiskam darbam sagatavots personāls, kuram ir piešķirtas tiesības realizēt energoietaisies operatīvo vadību, kontrolēt un mainīt režīma parametrus, izdarīt pārslēgumus, sagatavot vai dot atļauju sagatavot darba vietu, pielaist brigādi pie darba vai dot atļauju pielaist pie darba.

1.37. **PLC (Power Line Communication)** – datu pārraides sistēma elektropārvades līnijās.

1.38. **pulksteņslēdzis** – pulkstenis ar slēdža mehānismu elektriskās ķēdes ieslēgšanai un atslēgšanai noteiktā laikā, kuru izmanto skaitītāja laika tarifu zonu pārslēgšanai.

1.39. **plombēšana** – pasākums nesankcionētas piekļūšanas fakta identificēšanai uzskaites vai pirmsuzskaites ķēžu elementiem.

1.40. **RAA**–releju aizsardzība un automātika.

1.41. **RATD** – Latvenergo meitas uzņēmuma AS „Sadales tīkls” Releju aizsardzības, automātikas un televadības dienests, kurš veic RAA, dispečervadības iekārtu tehnisko apkalpošanu.

1.42. **reaktīvā enerģija** – sinusoidāla sprieguma un strāvas kompleksās (pilnās) jaudas daļa, kas nepieciešama atsevišķu iekārtu magnētiskā lauka radīšanai un ir neatņemama tehnoloģiskā procesa sastāvdaļa elektroenerģijas ražošanā, pārvadē un sadalē.

1.43. **RF (Radio frequencies)** – datu pārraides veids, kurā kā nesējvide tiek izmantota dažāda viļņa garuma radiofrekvences.

1.44. **SCADA** - Supervisory Control And Data Acquisition - uzraudzības, vadības un datu iegūšanas sistēma jeb operatīvas informācijas un vadības sistēma, kas ir DVS termina angliskais nosaukums.

1.45. **saistītais lietotājs** – elektroenerģijas lietotājs, kuram ir tiesības saņemt universālo pakalpojumu un kurš neizmanto iespēju kļūt par elektroenerģijas tirgus dalībnieku.

1.46. **sistēmas pakalpojums** – elektroenerģijas pārvade vai sadale, kas nodrošina elektroenerģijas plūsmas no ražotājiem līdz lietotājiem.

1.47. **tehniskā apkalpošana** – energoietaišu un energoiekārtu periodiskās apskates, tīrīšana, blīvēšana, visu veidu pārbaudes, diagnostika, regulēšana un sīku defektu novēršana.

1.48. **transformators** – elektroiekārta maiņsprieguma paaugstināšanai vai

pazemināšanai.

1.49. **transformatoru apakšstacija** – apakšstacija ar transformatoru(iem), kurš(i) saista divus vai vairākus dažāda sprieguma tīklus.

1.50. **universālais pakalpojums** – garantētas tiesības uz elektroenerģijas piegādi noteiktā kvalitātē par viegli un skaidri salīdzināmu un pārskatāmu cenu.

1.51. **uzskaites sadalne** – elektrosadalne, kurā atrodas elektroenerģijas uzskaitē.

1.52. **uzskaites vadojums** – vadu un to savienojumu kopums, kas nepieciešams uzskaites komponentu savstarpējai savienošanai un uzskaites darbības nodrošināšanai.

1.53. **zemspriegums** – spriegums, kas nepārsniedz 1000V maiņsprieguma vai 1500V līdzsprieguma.

2. Releju aizsardzība un automātika

2.1. *Vidsprieguma tīklā izmantojamās releju aizsardzības un automātikas darbības pamatprincipi*

Neviens energoapgādes sistēmai pieslēgtais uzņēmums vai mājsaimniecība, un arī pati energosistēma nav simtprocentīgi pasargāti no dažāda veida bojājumiem, kas var traucēt vai apturēt to darbību. Tāpat neviens cilvēks pasaulē nespēj nepārtraukti uzraudzīt energosistēmu un pietiekami ātri reaģēt bojājumu gadījumā. Šim nolūkam ir nepieciešama releju aizsardzība un automātika. Releju aizsardzība un automātika ir speciālā ierīce vai iekārtas kopums, kas seko jebkurām atkāpēm energosistēmā un novērš tālāko bojājumu attīstību (atslēdz bojāto posmu, iekārtu u.tml.) energosistēmā.

Releju aizsardzības un automātikas (turpmāk tekstā – relejs(i) vai releju aizsardzība) pamatuzdevums ir veikt tūlītēju tā energosistēmas elementa atslēgšanu no pārējās sistēmas, kurā radies bojājums (visbiežāk tas ir īsslēgums), vai arī atslēgt energosistēmas elementu, ja tas darbojas kādā citā šim elementam neparedzētā un nepieļaujamā režīmā, kas var radīt bojājumus sistēmā vai traucēt efektīvai elektriskās sistēmas darbībai. Šo uzdevumu releju aizsardzības iekārtām palīdz veikt jaudas slēdži, kas atslēdz bojāto elementu, kad to „pieprasa” releju aizsardzības iekārtas. Cituviet, kur relejus un jaudas slēdžus izvietot nav ekonomiski izdevīgi, kā aizsardzības elementus lieto drošinātājus.

Releji, kas tiek izmantoti īsslēguma aizsardzībai, kā arī daudzu citu veidu releji darbojas, pamatojoties uz strāvu un/vai spriegumu vērtībām. Strāvu un spriegumu releju aizsardzības iekārtas var saņemt no mērmaiņiem (strāvmaiņiem un spriegummaiņiem) vietās, kur strāvas un spriegumi ir augsti. Ar individuālām vai relatīvām izmaiņām strāvas un spriegumu lielumu vērtībās bojājumi „ziņo” relejiem par savu esamību, veidu un atrašanās vietu. Katram bojājuma veidam un vietai, kur tas atrodas, ir kāda raksturīga atšķirība starp strāvas un sprieguma lielumiem, un ir daudzu veidu releju aizsardzības, katra no tām projektēta ar mērķi pamanīt šo specifisko atšķirību un atbilstoši reaģēt (1). Ir iespējamās sekojošas atšķirīgas lielumu vērtības:

- a) strāvas
- b) spriegumi
- c) pretestības
- d) frekvence
- e) fāzu leņķi
- f) ilgums
- g) izmaiņu ātrums
- h) izmaiņu virziens vai secība
- i) harmonikas vai viļņu formas

Pēc strāvas un spriegumu vērtību salīdzināšanas ar iepriekš iestatītajiem lielumiem, releju aizsardzības iekārtas izdara secinājumus par sistēmas stāvokli. Releji nenovērš bojājumu rašanos, bet, ja tie tomēr ir notikuši, „mīkstina” to sekas. Ja bojājums ir īslaicīgs, piemēram, stipra vēja iedarbības rezultātā uz mirkli saskārušies divi gaisvadu līnijas vadi, tad releju aizsardzība veic tūlītēju līnijas atslēgšanu un pēc noteikta laika var automātiski ieslēgt līniju darbā. Modernā releju aizsardzība parāda arī bojājuma veidu un vietu (kilometros), kā arī reģistrē katru „notikumu” un neparedzētu aizsargājamā objekta darbību atmiņā. Tas palīdz ātrāk veikt remontdarbus, analizēt bojājumu rašanās iemeslus, to novēršanas efektivitāti un aizsardzības darbību.

Pēdējo trīsdesmit gadu laikā releju tehnoloģijā ir notikušas būtiskas izmaiņas. Releju attīstība iet roku rokā ar straujo informācijas tehnoloģijas nozares progresu. Tā ir visstraujāk attīstījusies un kļuvusi arvien vieglāk pieejama un plašāk izmantojama tieši pēdējo trīsdesmit gadu laikā. Elektromehāniskos relejus ir nomainījuši releji uz pusvadītāju bāzes, tagad tos ir nomainījuši digitālie releji, kas ir gan mazāki, gan funkcionālāki. Digitālo releju galvenā atšķirība ir tā, ka tajos nav kustīgu iekšējo daļu, līdz ar to nav kustīgo daļu nodiluma un tie darbojas pēc loģisko operāciju principa līdzīgi, kā dators. Ir pieaudzis releju un RAA darbības drošums. Digitālo releju attīstība un veidi detalizētāk tiks aplūkoti atsevišķi.

Elektromehāniskie releji tika izmantoti energosistēmu aizsardzībai jau aptuveni pirms simts gadiem. To darbības princips ir tāds, ka caurplūstošās strāvas magnētiskais lauks izsauc releja kontakta darbību, kā reakciju uz šī elektromagnētiskā lauka iedarbību. Strāva plūst vienā vai vairākos tinumos, kas atrodas uz releja magnētiskās serdes. Šādus relejus sauc par elektromehāniskajiem relejiem. Šo releju pluss ir tas, ka tie nodrošina savas funkcijas izpildi vienkārši, lēti un uzticami. Tādēļ tos vēl joprojām izmanto ieslēgšanas un atslēgšanas funkciju veikšanai RAA ķēdēs. Šie releji ir paredzēti tikai vienai funkcijai un pēc noteikta nostrādes reižu skaita strauji samazinās to darbības precizitāte, līdz ar to samazinās RAA drošums. Katra elektromehāniskā releja nostrāde saīsina tā

darba mūžu. Latvijas enerģosistēmā vēl atsevišķās 110 kV apakšstacijās ir sastopami elektromehāniskie releji, taču pakāpeniski tie tiek nomainīti ar digitālajiem relejiem. Uzstādot digitālos relejus, elektromehāniskie releji, kas ir darba kārtībā, tiek uzglabāti, lai nodrošinātu to rezerves. Ja kādā 110 kV apakšstacijā sabojājas elektromehāniskais relejs, tas tiek nomainīts ar identisku, darba kārtībā esošu releju līdz tam brīdim, kad to aizvieto ar digitālo releju. Apkalpojošajam personālam jābūt relejus pareizi uzstādīt un iestatīt, kā arī jāveic periodiskas to pārbaudes un releju darbības analīze.

Jebkurai releju aizsardzības iekārtai vai tās sistēmai ir pieci pamatizvēles un izstrādes kritēriji:

- 1) **Drošums** - varbūtība, ka relejs, releju sistēma un pārējie sistēmas elementi darbosies precīzi un pareizi.
- 2) **Ātrums** – pēc iespējas ātrāka bojājuma novēršana (atslēgšana).
- 3) **Selektivitāte** – ar šo terminu saprot vairāku savstarpēji saistītu aizsardzības iekārtu kopēju darbību. Selektivitāte tiek panākta, ja, notiekot avārijai, no sistēmas atslēdz tikai to iekārtu vai posmu, kurā ir noticis bojājums, pārējās nebojātās un neapdraudētās iekārtas atstājot darbā.
- 4) **Ekonomija** – maksimāla aizsardzība par minimālu cenu.
- 5) **Jutīgums** – cik relejs ir jutīgs pret tā kontrolējamo lielumu izmaiņām (2).

Vidsprieguma tīklos pamataizsardzība ir maksimālās strāvas aizsardzība, kuras nostrāde ir atkarīga no īsslēguma strāvas un nostrādes laika. Lai palielinātu RAA darbības drošumu, iespējamo bojājuma vietu aizsargā vairāki savstarpēji neatkarīgi releji. Ja nenotrādā relejs, kurš ir vistuvāk bojājuma vietai, tad ir jānostrādā nākamajam ķēdē esošam relejam jeb rezerves relejam. Šajā gadījumā RA darbība notiek atbilstoši selektivitātei - relejam, kuram bija paredzēts atslēgt bojājumu, ir mazāks laika kavējums nekā tam relejam, kurš ir nākamais ķēdē, lai atslēgtu bojājumu gadījumā, ja ir notikusi iepriekšējā releja atteice. Rezerves relejs, saņemot informāciju par bojājuma atslēgšanu, atsauc savu nostrādi. Rezerves releja laika kavējumu izvēlas, vadoties no bojājuma vietai tuvākā releja nostrādes laika.

Releju aizsardzība nenotrādā gadījumos:

- 1) ja relejiem nepienāk strāva vai spriegums;
- 2) ja ir bojāts pats relejs;
- 3) ja nenotrādā jaudas slēdža atslēgšanas mehānisms (bojājums jaudas slēdža piedziņā un tml.).

Releju aizsardzību ir jāveido tā, lai bojājums elektroietaisē nevarētu izraisīt arī kādas citas releju aizsardzības atteici. Vairāku ķēdē esošu releju uzdevums ir aizvietot vienu

otru, ja kāds no relejiem kādu iemeslu dēļ nav ievests darbā, piemēram, remonta vai nomaiņas laikā.

Neskatoties uz releju aizsardzības pareizu darbību, ir ļoti svarīgi veikt tās savlaicīgu un kvalitatīvu tehnisko apkalpošanu. Releju tehniskā apkalpošana ietver releju atmiņā reģistrēto novērsto bojājumu analīzi, regulāras elektroinstalāciju pārbaudes (izolācijas, savienojošo vadu un kontaktu vizuālo apskati un vadu savienojumu izturības pārbaudi), kā arī releju darbības pārbaudi, nostrādājot bojājumu gadījumos. Pēdējās no iepriekš minētajām veic ar speciāli šim nolūkam paredzētu releju aizsardzības pārbaudes iekārtu palīdzību. Pārbaudāmos relejus izved no darba (atslēdz, ja nepieciešams atvieno) un ievēd pārbaudes režīmā (ja relejam ir iepriekš minētā funkcija), un savieno ar pārbaudes iekārtu. Pārbaudot releja darbību ar pārbaudes iekārtu, imitē tos bojājumus, kuriem attiecīgais relejs ir paredzēts, un pēc saņemtajiem datiem analizē un novērtē releja darbību.

AS „Latvenergo” 110 kV apakšstacijas vīdsprieguma sadales ietaises katram releju aizsardzības komplektam ir jābūt pārbaudes protokolam, kā arī aizsardzības iestatījumu kartei. Releju aizsardzības kartes iestatījumus aprēķina ST attiecīgā reģiona Releju aizsardzības un telemehānikas dienests (RATD) kopā ar dispečeru dienestu (DD). Pārbaudes protokolā tiek uzrādīti releja tehniskie dati, veicamais pārbaudes apjoms, uzrādīti nosacījumi, uzskaitīti pārbaudei nepieciešamie piederumi un dokumenti, aprakstīts pārbaudes tehnoloģiskais process, pārbaudes iekārtas sagatavošana un veicamā pārbaude. RA pārbaudes ir jāveic saskaņā ar pārbaudes protokolu.

Latvijas Elektrotehniskā komisija ir izstrādājusi standartu LEK002 elektroietaišu un siltuma ietaišu tehniskajai ekspluatācijai. Šis standarts attiecas uz Latvijas Republikā ekspluatācijā esošajām elektroietaisēm ar spriegumu līdz 330kV ieskaitot. Standarta nodaļā „Releju aizsardzība, automātika un sekundārās ķēdes” ir uzskaitītas prasības, kas attiecas uz releju aizsardzību automātiku un tās pārbaudēm. Saskaņā ar LEK002, Releju aizsardzības un automātikas (RAA) iekārtu pārbaudes ir jāveic 2.1.tabulā norādītajā periodiskumā (3).

Nr. p.k.	Pārbaudes veids	Periodiskums	Speciāli norādījumi
1.	Pieņemšanas pārbaude		
2.	Pirmā pārbaude pēc pieņemšanas pārbaudes	Pēc 1 gada	
3.	Kārtējā pārbaude	1 reizi 4 gados	

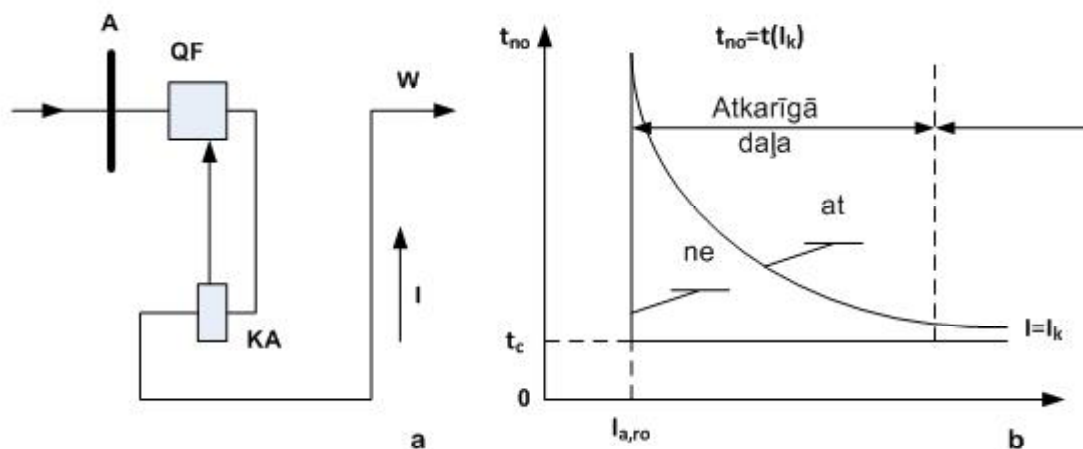
4.	Izmēģināšana	Pēc vajadzības	Nepieciešamību, pārbaudāmo iekārtu un periodiskumu nosaka elektrotīkla vai elektrostacijas tehniskais vadītājs.
5.	Ārpuskārtas pārbaude	Pēc vajadzības	Pārbaudes apjomu un pārbaudāmo iekārtu nosaka releju aizsardzības struktūrvienības vadītājs.

2.1.tabula. RAA iekārtu pārbaūžu veidi un to periodiskums

2.2. Elektromehāniskie releji

2.2.1. Tiešās darbības primārie releji

Tiešās darbības primāros relejus daļa divās grupās: releji, kuri nostrādā momentāni, un releji, kuru nostrāde ir ar laika kavējumu. Tiešās darbības primāros relejus iebūvē jaudas slēdža QF darbinātājā (attēls 2.1.). Ja aizsargājamās līnijas W strāva I sasniedz vai pārsniedz nostrādes strāvu $I_{a,no}$, t.i., ja $I \geq I_{a,no}$, tad aizsardzības strāvas relejs KA nostrādā un atslēdz jaudas slēdzi QF. (4)



2.1. attēls. Tiešās darbības primārā strāvas releja darbības princips

a- principiālā shēma, b- laika raksturlīknes; QF- jaudas slēdzis, KA- jaudas slēdža darbinātājs, ne- neatkarīgā laika kavējuma raksturlīknes daļa, at- ierobežoti atkarīgā laika kavējuma raksturlīknes daļa, t_c - releja darbības pašlaiks.

Minimālo strāvu, kuru sasniedzot nostrādā strāvas relejs KA, sauc par releja nostrādes strāvu un apzīmē ar I_{no} . Maksimālo strāvu, kuru sasniedzot notiek releja KA atgriešanās izejas stāvoklī, sauc par releja atgriešanās strāvu un to apzīmē ar I_{at} . Strāva $I_{a,at}$ ir aizsardzības atgriešanās strāva. Tiešās darbības primārajiem strāvas relejiem

$$I_{no} = I_{a,n} \quad (2.2.1.)$$

un

$$I_{at} = I_{a,at}. \quad (2.2.2.)$$

Strāvu I_{at} un I_{no} attiecību sauc par releja atgriešanās koeficientu un apzīmē ar k_{at} :

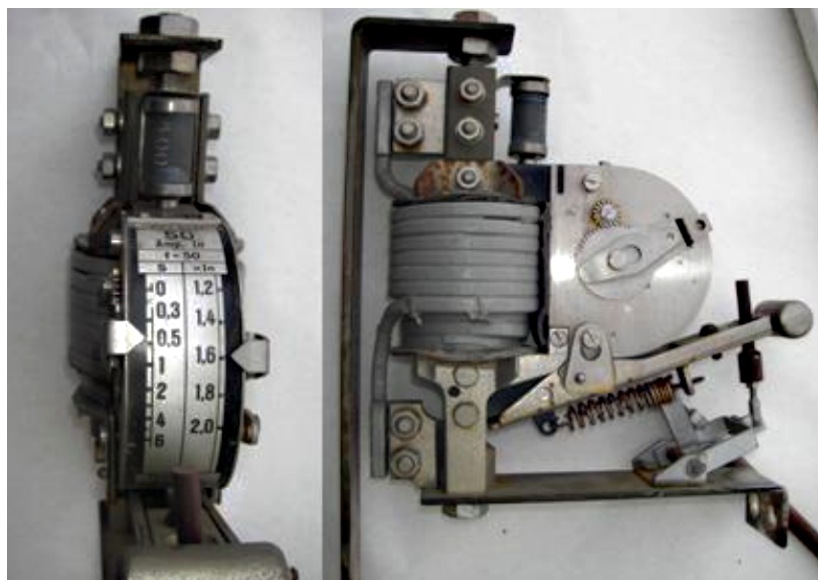
$$K_{at} = I_{at}/I_{no} = I_{a,at}/I_{a,no} \quad (2.2.3.)$$

Strāvas relejiem $I_{at} < I_{no}$. Jo koeficienta kat vērtība ir lielāka, jo releja kvalitāte ir labāka.

Tiešas darbības primārajiem relejiem $k_{at} \approx 0,5$.

Tiem ir vienkārša uzbūve, tie ir salīdzinoši lēti, darbojas bez traucējumiem, kā arī to ekspluatācija ir vienkārša, jo nav nepieciešami mērmaiņi (strāvmaiņi), kā arī tiem nav operatīvās barošanas elektrisko ķēžu un līdz ar to šo releju barošanai nav nepieciešams speciāls elektriskās enerģijas avots.

Tiešas darbības relejiem spole ir pieslēgta pie līnijas sprieguma, līdz ar to īsslēguma strāva releja spolē izsauc relatīvi lielas termiskās un dinamiskās pārslodzes. Tāpēc releju aizsardzības apskates un pārbaudes laikā aizsargājamā elementa elektriskā ķēde obligāti jāatslēdz, pārtraucot lietotāju apgādi ar elektroenerģiju. Šiem relejiem ir samērā lieli izmēri un svars, bet jaudas slēdža atslēgšanas mehānisma iedarbināšanai ir jāveic ievērojams mehāniskais darbs. Minētie aspekti ir tiešas darbības primāro releju trūkumi. Masīvās konstrukcijas dēļ to jutība un darbības precizitāte ir zema.



2.2.attēls. Firmas Brown Boveri (BB) primāras iedarbes strāvas relejs

Tiešas darbības primāros relejus lieto 6, 10, 20 un 35 kV sprieguma sadales tīklu aizsardzībām, kā arī nelielas jaudas transformatoru un asinhrono dzinēju aizsardzībai pret daudzfāzu īsslēgumiem un pārslodzi. (4)

2.2.2. Tiešās darbības sekundārie releji

Šie releji iedalās divās grupās: maksimālās strāvas releji un minimālā sprieguma releji. Abus šos relejus aizsargājamā elementa ķēdē ieslēdz ar mērmaiņiem (spriegummaiņiem vai strāvmaiņiem) un abu šo releju izpildes elements iedarbojas mehāniski tieši uz jaudas slēdža atslēgšanas mehānismu.

Maksimālās strāvas relejus iedala strāvas relejos ar momentānu nostrādi un strāvas relejos ar ierobežoti atkarīgu laika kavējuma raksturlīkni.

Strāvas releji ar momentānu nostrādi tika iebūvēti jaudas slēdža darbinātājā. Atkarībā no jaudas slēdža darbinātāja tipa un releja izgatavotāja (ar momentānu nostrādi) uzbūve (attēls 2.3) tiem var ievērojami atšķirties. Šiem relejiem var būt atšķirīga arī nostrādes strāvas I_{no} regulēšanas ierīce. Releja ar momentānu nostrādi nostrādes strāva

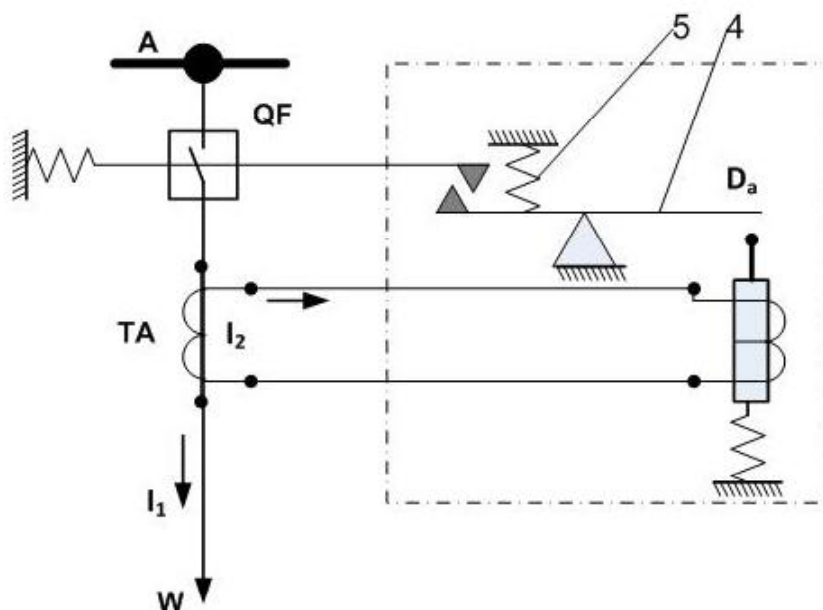
$$I_{no} = I_{a,no} / K_I, \quad (2.2.4.)$$

$I_{a,no}$ - aizsardzības nostrādes strāva. K_I - strāvmaiņa transformācijas koeficients

$$K_I = I_1 / I_2, \quad (2.2.5.)$$

I_1 , I_2 - strāvmaiņa strāva primārajā un sekundārajā tinumā.

Nostrādes strāvu maina, izmainot spoles vijuma skaitu ar speciālu pārslēgu vai regulējot plūdeni, mainot gaisa spraugu starp kustīgo un nekustīgo serdi.



2.3. attēls. Tiešās darbības sekundārā strāvas releja ar momentānu nostrādi vienkāršota ieslēgšanas shēma un darbības principiālā shēma, kur :

1- releja spole, 2- kustīgā serde, 3- kustīgais belzenis sviras 4 - atbrīvošanai un jaudas slēdža QF atslēgšanai, 5, 6, 7- atsperes, Da- darbinātājs.

Gadījumā, ja strāvas relejs ir ar laika kavējumu, releja elektromagnētiskā sistēma tiek papildināta ar speciālu pulksteņa mehānismu. Rezultātā relejs iegūst ierobežoti atkarīgu laika kavējuma raksturlīkni (attēls 1.b). Nostrādes strāvas iestatījumu ieregulē, izmainot spoles vijumu skaitu, bet laika kavējumu maina, izmainot iestatījumu pulksteņa mehānismā. Relejam nostrādes laika kavējumu iespējams mainīt robežas no 0 līdz 4 sek, bet strāvas iestatījumu no 5 līdz 35 A. (4)

Minimālā sprieguma releji tiek iedalīti relejos ar ierobežoti atkarīgu laika raksturlīkni un relejos ar momentānu nostrādi. Šie releji paredzēti pret bīstamu sprieguma pazemināšanos. Releji tiek ražoti 100 līdz 380 V lielumam nominālajam spriegumam. (4)

Tiešās darbības sekundāro releju priekšrocības:

- a) vienkārša aizsardzības shēmas uzbūve un ekspluatācija;
- b) stabili darbojas īsslēgumos;
- c) strāvas releji nav pakļauti tiešai īsslēguma strāvas termiskajai un dinamiskajai iedarbei;
- d) releja iestatījumu var mainīt, neatslēdzot jaudas slēdzi;
- e) nav nepieciešams speciāls operatīvo ķēžu barošanas avots.

Tiešās darbības sekundāro releju trūkumi:

- a) lai atbrīvotu jaudas slēdža atslēgšanas mehānismu, relejam ir nepieciešama liela pašpatēriņa jauda ($S_{no}=16$ līdz 50 VA, ar nobremzētu enkuru no 50 līdz 800 VA);
- b) relejam ir samērā lieli gabarīti un svars;
- c) relejam ir neliela jutība un zema darbības precizitāte;
- d) releja darbību var pārbaudīt tikai kopā ar jaudas slēdzi, līdz ar to ir jāpārtrauc patērētāju elektroapgāde.

Ievērojot tiešās darbības sekundāro strāvas releju pozitīvās īpašības, tos plaši izmanto rūpniecības uzņēmumos, pilsētas un lauksaimniecības objektu elektroapgādes ietaisēs 6, 10, 20 un 35 kV vīdsprieguma sadales tīklā transformatoru, elektrodzinēju un citu patērētāju aizsardzībai.

2.2.3. Netiešās darbības releji

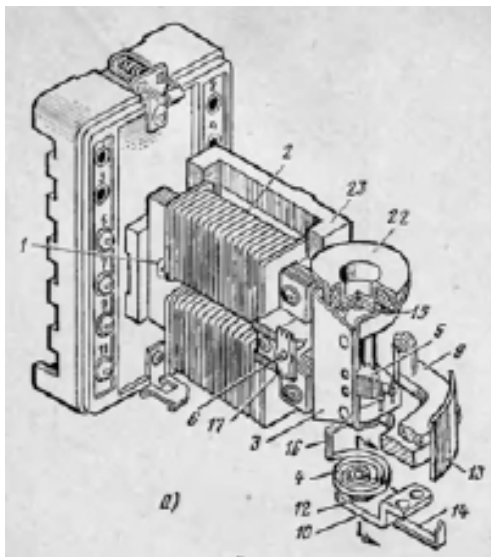
Pastāv divu veidu netiešās darbības releji:

- a) maksimālās strāvas;
- b) maksimālā sprieguma releji, kurus aizsargājamā ķēdē ieslēdz ar mērmaiņiem.

1- spole, 2- darbinātājā DA iebūvētais līdzstrāvas elektromagnēts, kurš, nostrādājot ar belzeni 3, atbrīvo sviru 4 un atslēdz jaudas slēdzi OF 1, 5, 6, 7- atsperes

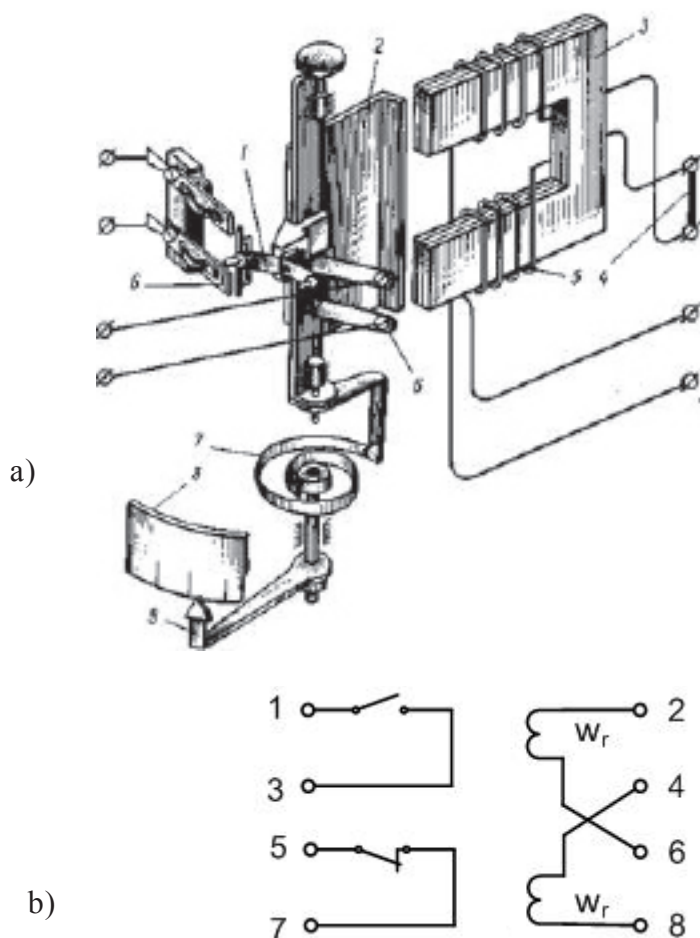
Elektromehāniskos maksimālās strāvas un maksimālā sprieguma relejus izgatavo ar pievelkamu vai ar pagriežamu (Z veida) enkuru.

Aplūkojot relejus ar pievelkamu enkuru, kā vienu no pasaulē atzītākajiem strāvas relejiem var minēt RT-40 (2.4. attēls). Šī releja konstrukcija nepārtraukti tiek pilnveidota.



2.5.attēls. Strāvas releja RT-40 konstruktīvais izveidojums(5)

1 – *serde*, 2 – *spolītes korpuss*, 3 – *enkurs*, 4 – *spirālveida atspere*, 5 – *kustīgais kontakts*, 6 – *kreisā atdure*, 7 – *labās puses kontaktu pāris*, 8 – *kreisās puses kontaktu pāris*, 9 – *izolējošais turētājs*, 10 – *atsperes turētājs*, 12 – *sešskaldņa ass*, 13 – *iestatījumu skala*, 14 – *iestatītās vērtības rādītājs*, 15 – *augšējā pusass*, 16 – *kāts*, 17 – *montāžas plāksne*, 22 – *svārstību slāpētājs*, 23 – *alumīnija pamatne*.

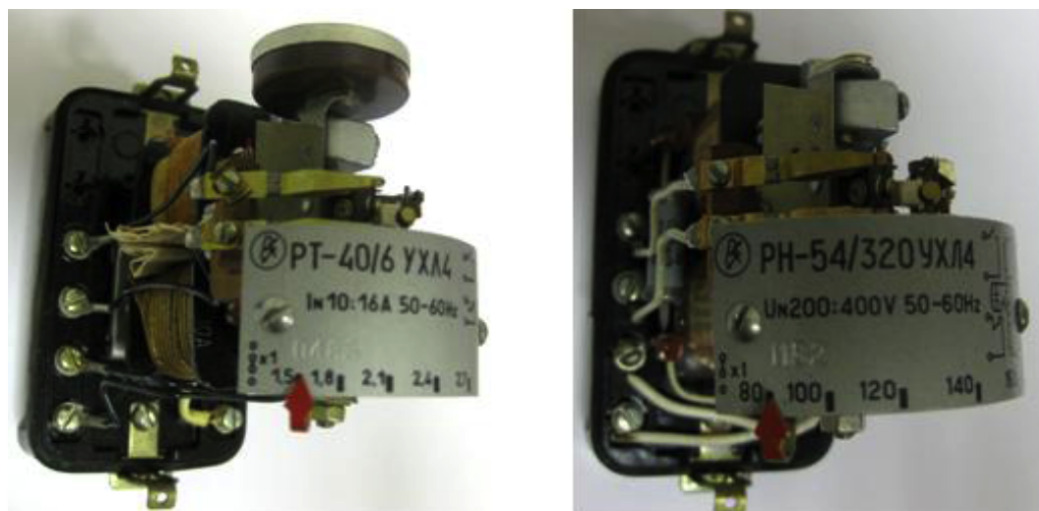


2.6.attēls. Releja RT-40 uzbūves a) un darbības b) principiālā shēma:(6)

1-kustīgais kontakts, 2-pievelkams enkurs, 3-U veida tērauda skārda serde, 4-savienojums, 5- tinumu spoles, 6- kontaktu sistēma, 7- spirālatspere, 8- graduēta iestatījumu skala, 9- iestatītās strāvas vērtības rādītājs.

2.6.attēlā parādīta releja RT-40 uzbūves un darbības principiālā shēma. Uz U veida tērauda skārda serdes (3) novietotas divas spoles (5), kuras var saslēgt virknē vai paralēli, tā panākot diskrēto jeb pakāpjveida I_{no} regulēšanu. Kustīgajam mehānismam pret darbības momentu rada spirālatspere (7). Mainot šīs atsperes spriegojumu (pārvietojot rādītāju (9) gar strāvas vienībās graduētu skalu (8)), panāk releja nostrādes strāvas I_{no} vienmērīgu ieregulēšanu. Relejs izgatavots ar īpašas konstrukcijas pievelkamu enkuru (2). Kontaktu sistēmai izveidota oriģināla ierīce (22) (attēls 2.5.), kura slāpē vibrācijas, kas var rasties lielu īsslēguma strāvu gadījumā. (4)

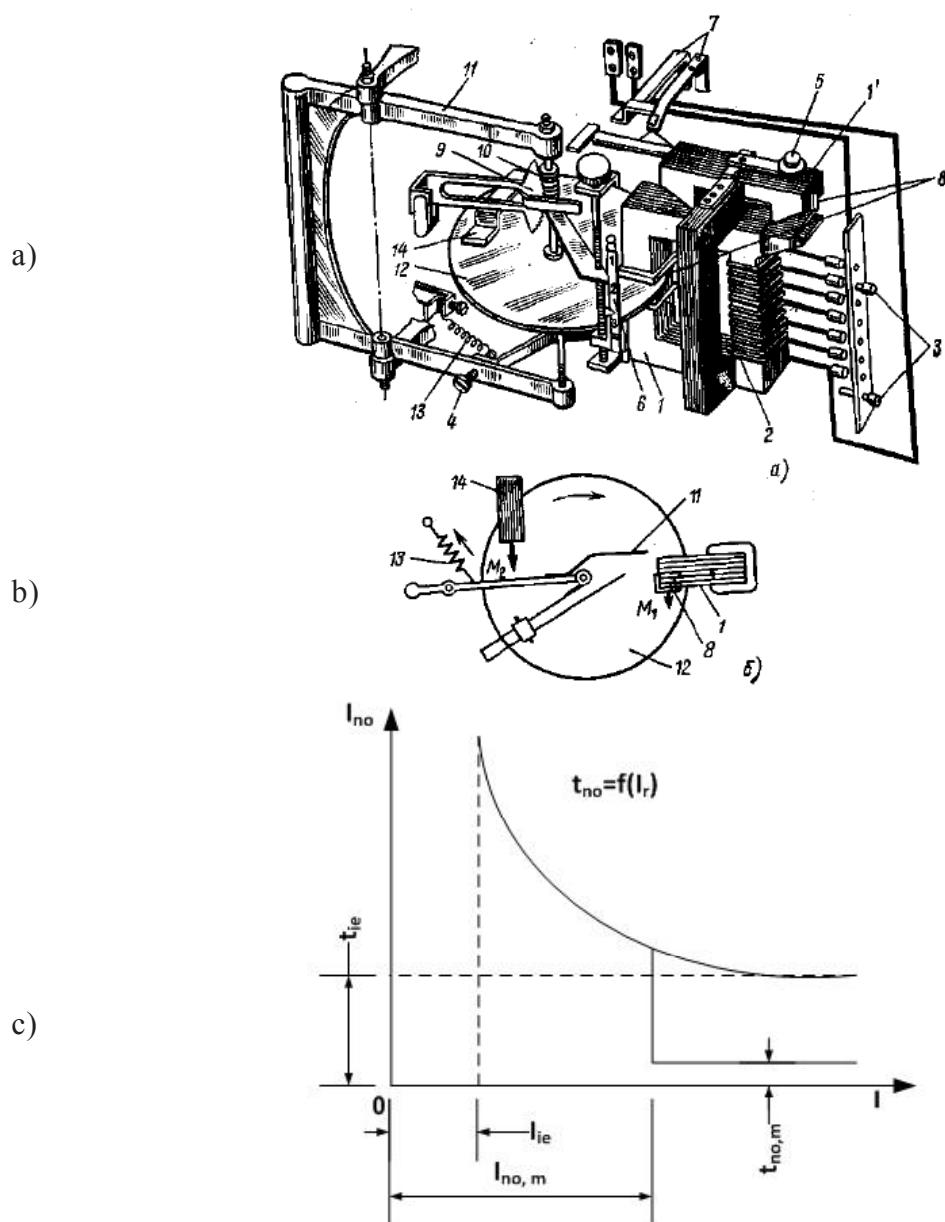
No relejiem ar pievelkamu enkuru vēl var minēt sprieguma relejus RN-54. Šie releji ir izveidoti uz releju RT-40 bāzes (2.7.attēls.). Abi šie releji galvenokārt atšķiras tikai ar spoļu vijumu skaitu ωr . Līdz ar to spoļu pilnā pretestība Z_r ir liela. Tā kā abas spoles (ωr) tiek barotas ar taisngrieztu maiņspriegumu, relejā ir iebūvēts pusvadītāju diožu taisngriezis tiltiņa slēgumā. Līdz ar to kontaktu vibrāciju slāpēšanas ierīce šim relejam nav nepieciešama.



2.7.attēls. Strāvas relejs RT-40 un sprieguma relejs RN-253

No netiešas darbības relejiem vēl var minēt indukcijas sistēmas strāvas relejus. Šo releju darbības pamatā ir mainīgas magnētiskās plūsmas un alumīnija diskā inducētās strāvas mijiedarbība. Tāpēc indukcijas sistēmas strāvas relejus izgatavo tikai maiņstrāvai, jo tā rada mainīgu magnētisko plūsmu. Plaši pazīstami ir RT-80 (RT-85) sērijas indukcijas sistēmas strāvas releji. Šiem relejiem kopīgajā konstrukcijā apvienoti indukcijas sistēmas strāvas relejs ar ierobežoti atkarīgu laika raksturlīkni un momentānas darbības

elektromehāniskais strāvas relejs (2.8. attēls.).



2.8.attēls. Indukcijas veida strāvas relejs RT-80:(7)

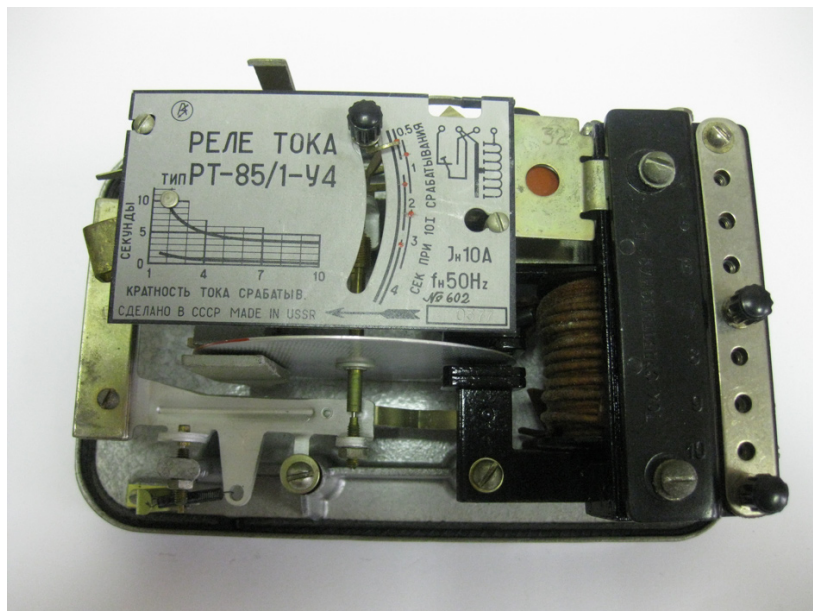
a- releja konstruktīvais izveidojums, b- spēku, kas darbojas uz kustīgo sistēmu, attēlojums, c- nostrādes laika raksturlīkne.

t_{ie} - indukcijas sistēmas laika iestatījums, $I_{no,m}$ - elektromagnētiskās nostrādes strāva, $t_{no,m}$ - elektromagnētiskās sistēmas darbības pašlaiks, 1- elektromagnētiskā sistēma, 1'- enkurs, 2- spole, 3- ligzdas, 4,5-regulēšanas skrūve, 6- rādītājs, 7- kontakti, 8-īsslēgtie gredzeni, 9 - zobsektors, 10- gliemezis, 11- kustīgs rāmis,12 - disks, 13- atspere, 14- pastāvīgais magnēts.

Indukcijas sistēmas strāvas releja galvenās sastāvdaļas ir alumīnija disks (12), elektromagnētiskā sistēma (1) ar īsslēgtiem gredzeniem, kustīgais rāmis (11), kurā iestiprināts disks. Kad strāva spolē (2) sasniedz $I_r = (0,2 \dots 0,3) I_{ie}$ vērtību (I_{ie} - releja iestatījuma strāva), disks (12) sāk rotēt. Relejs vēl nenostādā, jo atsperē (13) ar spēku F_a tur rāmi 11 atrautu, tas ir, neļauj izveidoties gliemeža (10) un zobsektora (9) sazobei. Diska rotāciju izraisa spēks F_e , kuru rada elektromagnēts (1) (2.8. attēls b.). Tam pretdarbojas spēks F_m , kuru izraisa pastāvīgais magnēts (14). Ja releja strāva I_r lielāka par releja iestatīto strāvu, ievērojami pieaug spēku F_e un F_m vērtības. Pieaug arī diska (12) rotācijas frekvence. Uz disku darbojošais rezultējošais spēks pārsniedz atsperes (13) pretspēku F_a . Rāmis (11) pagriežas, un gliemezis (10) nonāk sazobē ar zobsektoru (9) un ceļ to uz augšu. Pēc attiecīga laika kavējuma sektors (9) ar cieši piestiprinātu stienīti paceļ sviru, un tā saslēdz kontaktus (7). Strāvu I_{ie} regulē ar skrūvi (3), mainot spoles (2) pieslēgto vijumu skaitu, bet t_{ie} (t_{ie} - iestatītais releja nostrādes laiks) regulē ar skrūvi blakus diskam, t. i., mainot zobsektora (9) veicamā ceļa garumu. Elektromagnēts (1) un enkurs (1') veido momentānas darbības elektromagnētisko releju. Īsslēguma gadījumā elektromagnēts nekavējoties pievelk enkuru un ar sviras starpniecību saslēdz kontaktus (7). Šīs aizsardzības iestatījuma strāvu $I_{ie,m}$ izmaina, ar skrūvi palielinot vai samazinot enkura (1') gaisa spraugu. Strāvu $I_{ie,m}$ iespējams mainīt robežās (2 līdz 8) I_{ie} , kur I_{ie} ir releja indukcijas sistēmas iestatītā strāva. 2.8. attēlā c parādīta releja RT-80 ierobežoti atkarīgā laika raksturlīkne $t_{no} = f(I_r)$.

Indukcijas strāvas releju priekšrocības:

- a) relejus var izmantot aizsardzībai gan pret pārslodzi (indukcijas sistēma), gan arī pret īsslēgumu (elektromagnētiskā sistēma);
- b) elektromagnētiskā sistēma nostrādā momentāni, īsslēgumi tiek nekavējoties atslēgti, bet pārslodze tiek atslēgta ar laika kavējumu, turklāt, jo lielāka pārslodze, jo ātrāk tā tiek atslēgta;
- c) dažus no relejiem var izmantot lai izveidotu maksimālās strāvas aizsardzības ar operatīvo maiņstrāvu (releji: RT-85 (2.9.att.), RT-86 un RT-95);
- d) atsevišķu releju pamatkontaktu komutācijas spēja sasniedz līdz 150 A;
- e) relejam (RT-85, RT-86 un RT-95) nav nepieciešama operatīvā sprieguma barošana. Jaudas slēdža atslēgšanai tiek izmantota strāvas dešuntēšanas shēma, kas ļauj bez strāvas ķēdes pārtraukšanas pārslēgt strāvmaiņa sekundāro strāvu pie nosacījuma, ka caur releju plūstošai strāvai ir jāpārsniedz jaudas slēdža atslēgšanas spoles iestatījuma strāva (sekundāra releja ar primāro iedarbi).



2.9.attēls. Indukcijas strāvas relejs RT-85

Indukcijas strāvas releju trūkumi:

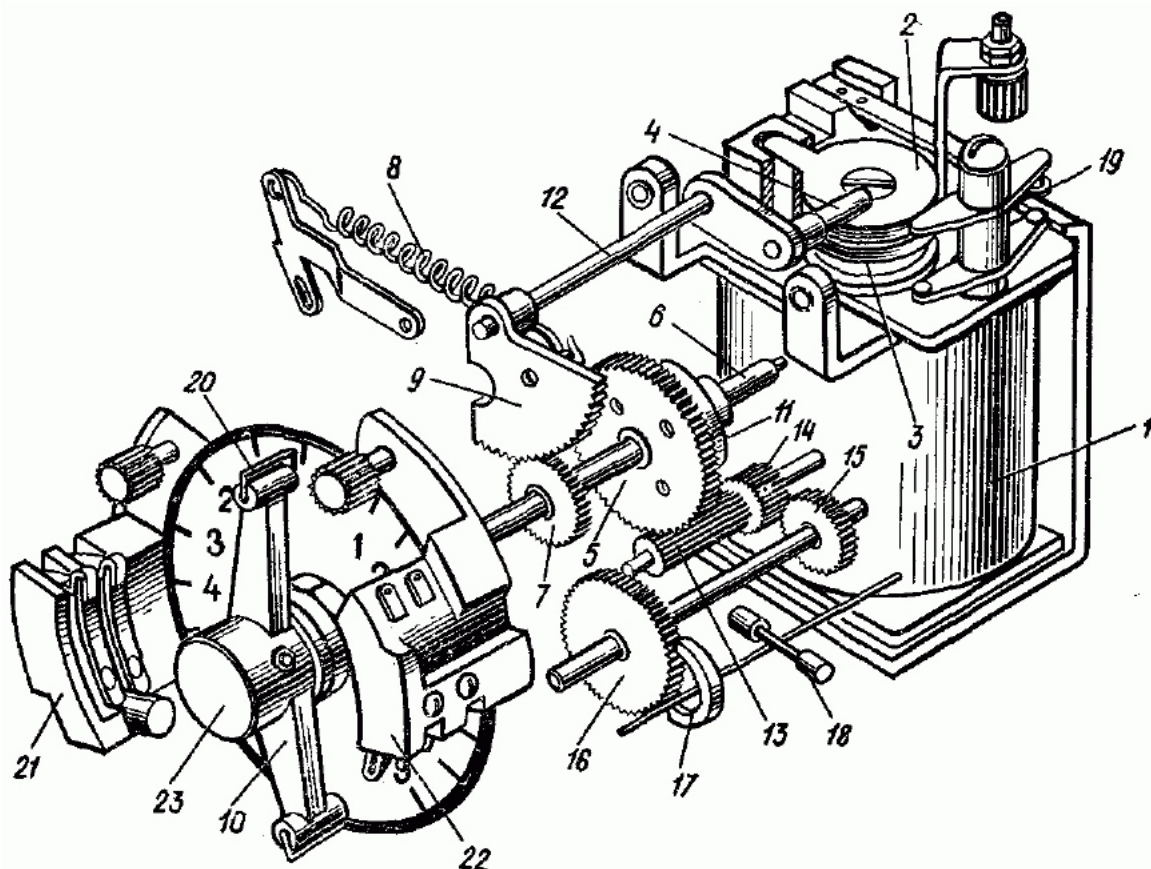
- a) salīdzinoši lieli gabarīti un svars (vidēji 3,7 kg);
- b) sarežģīta mehāniskā konstrukcija;
- c) mazs atgriešanās koeficients ($k_{at}=0,25\dots 0,4$);
- d) liela nostrādes strāvas I_{no} izkliede;
- e) liela patērētā jauda (piemēram, relejam RT-80 $S_{no} \leq 10 V \times A$).

Indukcijas strāvas relejus plaši lieto 6, 10, 20 un 35 kV sprieguma sadales tīklu aizsardzībai, asinhrono dzinēju, nelielas un vidējas jaudas transformatoru, taisngriežu iekārtu un citu elektroapgādes sistēmas elementu aizsardzībai pret īsslēgumiem un pārslodzi. (4)

2.2.4. Laika releji

Laika relejus izmanto, lai nodrošinātu dažādu operāciju izpildi noteiktā laika secībā. Laika relejs var būt izveidots kā elektromagnētisks vai elektromagnētiskajam relejam pievienots pneimatisks, mehāniskais shēmas bloks ar pulksteņa mehānismu. Energosistēmā tiek izmantoti pneimatiskie, elektromehāniskie un laika releji ar elektromotoru un taimeru. Laika relejus lieto, lai aizsardzības un automātikas shēmās radītu RA elementa nostrādes laika kavējumu. Konstruējot laika relejus, ir būtiski ievērot to uzbūves īpatnības. Tiem ir nelieli gabarīti un svars, neliels elektriskās jaudas patēriņš, precīza darbība, lai tas pēc barošanas pārtraukšanas automātiski un iespējami ātri atgrieztos sākuma stāvoklī. Elektromagnētiskos laika relejus plaši izmanto rūpniecības un lauksaimniecības objektu elektroapgādes shēmās. Šie releji ir ar augstu darba drošumu un pamatā precīzi. Laika kavējumu rada speciāls pulksteņa mehānisms, kuru uzvelk elektromagnēts. Tiek lietoti divu veidu laika releji: EV-100 (līdzspriegumam) un EV-200 (maiņspriegumam). Šo releju uzbūve un darbība parādīta attēlā 2.10. Darbinātājatspere (8) normāli ir uzvilktā,

pirksts (4) balstās uz releja enkura (2) augšējās daļas. Pieslēdzot spoli (1) operatīvo ķēžu barošanas spriegumam, relejs ievilk enkuru (2), saspiež atsperi (3) un atbrīvo pirkstu (4) (atspere (3) nodrošina ātru releja atgriešanos sākuma stāvoklī). Atspere (8) tiek atbrīvota un zobsektors (9) sāk rotēt ap vārpstu (12) un piedzen zobratu (7), kurš piedzen un griež mehānismu ar kustīgajiem kontaktiem (10) un (20). Dzenošo zobratu (5) un pulksteņa mehānismu (16, 17, 18) saista ar palīgzobratiem (13, 14) un (15). Pulksteņa mehānisms nodrošina kustīgo kontaktu (10) un (20) mehānisma vienmērīgu rotāciju. Releja nostrādes laika kavējumu nosaka laiks, kāds nepieciešams kustīgo kontaktu (10) un (20) pārvietošanai no sākuma stāvokļa līdz to saskarei ar nekustīgajiem kontaktiem (21 un 22). Relejs ar laika kavējumu saslēdz divus kontaktu pārus. Ar skrūvēm (pārvietojot kontaktu ierīci (21) gar releja skalu) var mainīt kustīgo kontaktu pārvietošanās leņķi α līdz saskarei ar nekustīgo kontaktu (21 un 22) sistēmu, līdz ar to mainās releja nostrādes laika kavējums $t_{no} = \alpha / \omega_r$, kur ω_r - kontaktu (10 un 20) leņķiskā rotācijas frekvence ($\omega_r = \text{const}$).



2.10.attēls. Laika releja (EV-100 un EV-200) uzbūve:(8)

1- spole, 2- enkurs, 3 un 8- atsperes, 4- pirksts, 5, 7, 13, 14, 15 un 16- zobrati, 6- ass, 9- zobsektors, 10 un 20 - kustīgie kontakti, 12- vārpsta, 21 un 22- nekustīgie kontakti, 17- segmenta loks, 18- svariņš, 19- skala.

Laika relejiem EV-100 un EV-200 ir šādas priekšrocības: a) nelieli gabarīti un svars

(vidēji 1,5 kg); b) pietiekami precīza darbība; c) tos ražo dažādu nominālu līdzspriegumam un maiņspriegumam; d) stabila kontaktu darbība; e) elektromagnētiskā sistēma stabili darbojas ar $(0,7 \dots 1,1) U_{\text{nom}}$.

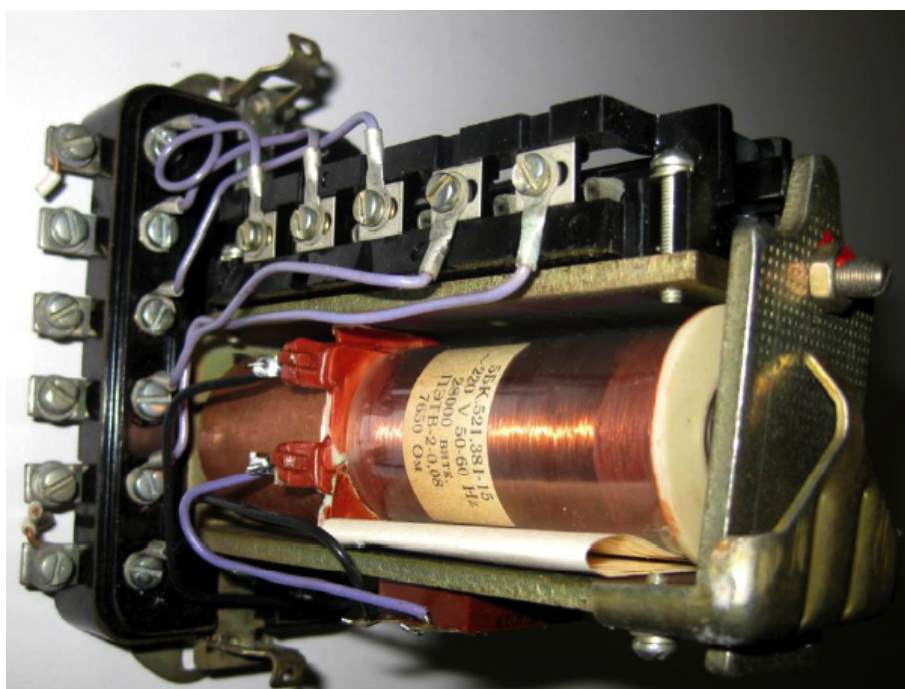
Šiem laika relejiem ir arī šādi trūkumi:

- a) samērā liels jaudas patēriņš;
- b) releju barošanai nevar izmantot strāvmaiņu sekundāro tinumu.

2.2.5. Starpreleji

Šie releji releju aizsardzības un automātikas shēmās tiek lietoti šādos gadījumos:

- a) ja nepieciešams relejs ar kontaktiem, kuriem komutācijas spēja ir lielāka nekā mērīšanas releju (pamatreleju) kontaktiem;
- b) ja vienlaikus nepieciešams komutēt vairāk ķēžu, nekā tas iespējams ar mērīšanas releju kontaktiem;
- c) ja nepieciešams komutēt ķēdi ar nelielu laika kavējumu.



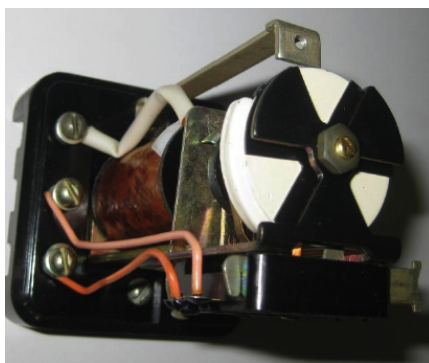
2.11. attēls. Starprelejs RP-256

Izmantojot šos relejus releju aizsardzības shēmā, tiem tiek noteiktas šādas prasības:

- a) iespējami minimāli gabarīti un svars;
- b) maksimāli ātra darbība $(0,01 \dots 0,1 \text{ s})$;
- c) pietiekami augsta kontaktu komutācijas spēja;
- d) relejam stabili jāstrādā ar $U = (0,7 \text{ līdz } 1,1) U_{\text{nom}}$;
- e) neliels pašpatēriņš.

2.2.6. Signālreleji

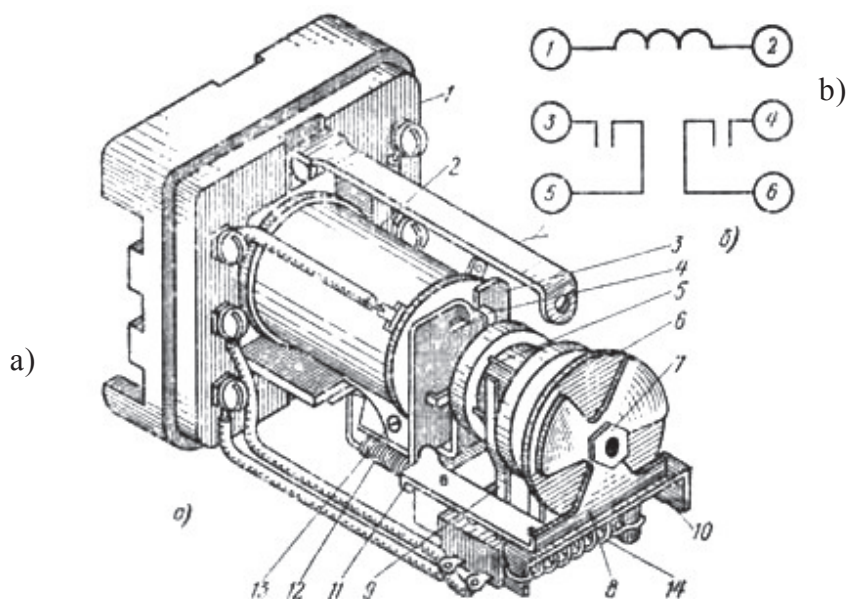
Releju aizsardzības un automātikas shēmās signālreļus izmanto kā šo iekārtu nostrādes indikatorus vai lai signalizētu dežūrējošam personālam par aizsargājamā objektā norisošajiem procesiem, iedarbinot skaņas vai gaismas signālu.



2.12. attēls. Signālrelejs RU-21

Signālreļi (attēls 2.12.) ievērojami atvieglo releju aizsardzības un automātikas darbības kontroli apakšstacijās, atvieglo bojājumu atrašanu un palīdz operatīvajam personālam pieņemt pareizus lēmumus, lai nodrošinātu elektroapgādes nepārtrauktību.

Attēlā 2.13. parādīta signālreleja RU-21 uzbūve (a) un principiālā shēma (b). Plūstot nostrādes strāvai I_{no} spolē (2), tiek pievilks enkurs (4), kas atbrīvo karodziņu (7). Pašsvara ietekmē tas pagriežas un parādās apvalka lodziņā. Relejam nostrādājot, tiek saslēgti vai pārtraukti arī tā kontakti. Jāpiebilst, ka saslēdzējkontaktus var viegli pārveidot arī par atslēdzējkontaktiem. Operatīvais personāls releju sākuma stāvoklī atgriež ar pogu uz releja korpusa.



2.13.attēls. Signālreleja RU-21 uzbūve (a) un principiālā shēma (b):(9)

1- plastmasas pamatne, 2- spole, 3- tērauda serde, 4- enkurs, 5- kontaktu tiltiņš, 6- kontaktu plate, 7- signālkarodziņš, 12- releja atgriezējatspere.

Signālreleju RU-21 priekšrocības ir nelieli gabarīti un svars (0,4 kg), ilgs darba mūžs un stabila kontaktu sistēmas darbība.

2.2.7. Termoreleji

Termorelejus izmanto elektroierīču pasargāšanai no pārslodzes. Tie ir divu veidu - bimetāla un manometra (gāzu izplešanās termoreleji).

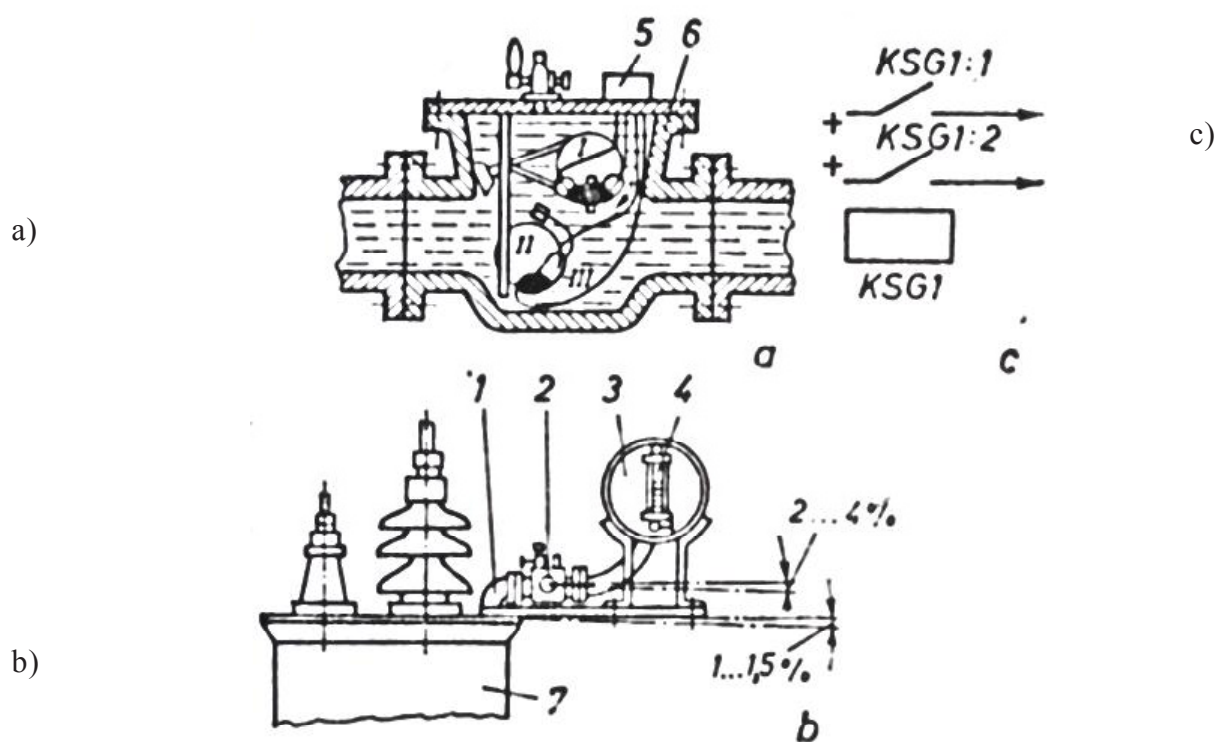
Bimetāla termorelejus izmanto automātiskās vadības sistēmās: magnētiskajos palaidējos (kā laika relejus) dzinēju aizsardzībai no pārslodzēm. Bimetāla termorelejs sastāv no bimetāla plāksnītes, kas ir cieši savienota ar metāla sloksnītēm ar dažādiem termiskās izplešanās koeficientiem. Modernajos termorelejos ir iebūvētas apkārtējās vides temperatūras kompensācijas plāksnītes. Manometra jeb gāzu izplešanās termorelejus izmanto elektroietaišu aizsardzībai, kurās izolācijai izmanto gāzi vai eļļu. (10)

2.2.8. Gāzes releji

Transformatoru ar jaudu $S_{T, nom} \geq 6,3$ MVA aizsardzībai pret iekšējiem bojājumiem lieto gāzes aizsardzību. Gāzes aizsardzības pamatierīce ir gāzes relejs. Vieni no pirmajiem gāzes relejiem, kas tika izgatavoti aptuveni pirms 70 gadiem, bija PG-22 un PGZ-22 gāzes releji.

Šo abu releju uzbūve un darbības principi ir līdzīgi un parādīti attēlos 2.14.a un 2.14.b. Čuguna korpusā (6) ievietoti divi kustīgi tērauda skārda pludiņi (I un II). Gāzes releju ievieto eļļas caurulē (1), kas savieno konservatoru (izplešanās trauku) (3) ar transformatora apvalku (7). Katra pludiņa galā ir piestiprināta noslēgta stikla caurulīte ar iekausētiem kontaktiem. Caurulītē atrodas nedaudz dzīvsudraba. Eļļai plūstot un pludiņam pagriežoties, pagriežas arī caurulīte (III), un dzīvsudrabs saslēdz kontaktus. Transformatora normālā darba režīmā šie kontakti ir pārtraukti. Releja virspusē piestiprināta izolējoša materiāla spaiļu plāksne ar četrām spailēm, kuras nosedz speciāls aizsargvāks. Spailēm pieslēdz aizsardzības ķēdes vadus no caurulīšu saslēdzējkontaktiem. Augšējā pludiņa (I) kontakti iedarbina signālu, bet apakšējā pludiņa (II) kontakti noslēdz transformatora atslēgšanas ķēdi. Ja rodas nelieli bojājumi, piemēram, izveidojies īsslēgums starp dažiem tinumu vijumiem, gāze izdalās lēni. Sīku pūslīšu veidā tā ceļas uz augšu un virzās pa eļļas cauruli (1) uz eļļas konservatoru (3). Ejot caur gāzes releju (2), pūslīši sakrājas tā augšējā daļā un no turienes izspiež eļļu. Līdz ar eļļas līmeņa pazemināšanos pludiņš (I) pagriežas uz leju un, sasniedzot noteiktu pagriežiena leņķi, saslēdz kontaktus. Līdz ar to noslēdzas gāzes

aizsardzības signalizācijas ķēde (saslēdzas kontakts KSG1:1 (attēls 1.14.), kas liecina par to, ka transformatorā radies neliela apjoma iekšējs bojājums. Liela apjoma iekšēja bojājuma gadījumā gāzes izdalās ļoti intensīvi, tam seko strauja eļļas pārvietošanās caurulē (1) un relejā (2). Ja eļļa plūst caur releju (2) ar ātrumu $v \geq 0,5$ m/s, pludiņš (II) pagriežas un saslēdz transformatora atslēgšanas ķēdes kontaktus. Šai gadījumā gāzes releja darbības laiks ir apmēram 0,1...0,2 s. Pēc neilga laika, gāzēm sakrājoties releja augšējā telpā, nostrādā arī signālķēde. Pludiņa (II) darbības jutību regulē ar speciāliem atsvariņiem atbilstoši eļļas plūsmas ātrumam ($v=0,5...1,5$ m/s).

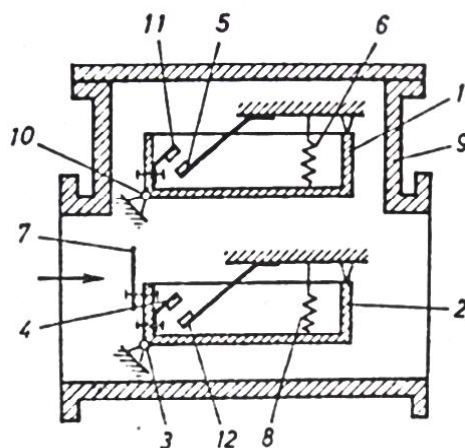


2.14.attēls. Gāzes relejs PG-22 (PGZ-22):

a- uzbūve, b- novietojums uz transformatora, c- apzīmējums elektriskajā shēmā;

1- eļļas caurule, 2- gāzes relejs, 3- konservators, 4- eļļas līmeņrādis, 5- spaiļu dēlītis ar aizsargvāku, 6- čuguna trauks, 7- transformatora tērauda korpuss; I- augšējais pludiņš, II- apakšējais pludiņš, III- stikla caurulīte ar dzīvsudraba kontaktiem.

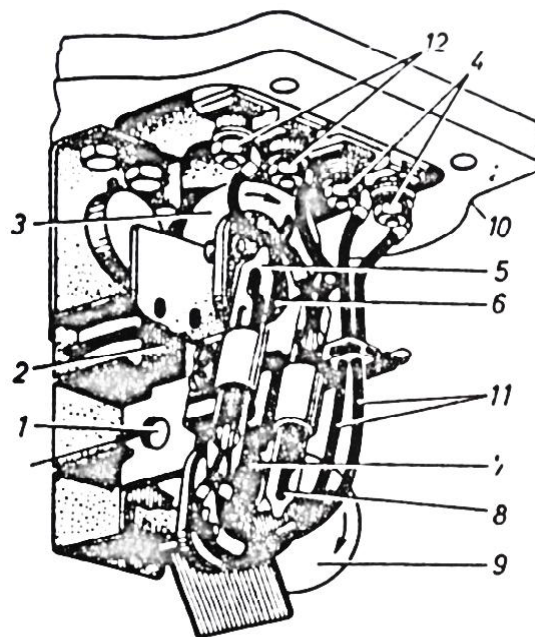
Ja transformatorā iekļūst gaiss, piemēram, pēc remonta iepildot eļļu, pludiņš (I) noslēdz signalizācijas ķēdi. Ja tērauda apvalkam (tvertnei) rodas sūce un eļļas līmenis pazeminās, tad vispirms nostrādā pludiņš (I), noslēdzot signalizācijas ķēdi, bet, līmenim pazeminoties vēl vairāk, apakšējais pludiņš (II) transformatoru atslēdz.



2.15. attēls. Gāzes releja RGČZ-66 uzbūve:

1 un 2- signalizācijas elementi (kausi), 3, 10- asis, 4, 11- kustīgie kontakti, 5, 12- nekustīgie kontakti, 7- regulējama lāpstiņa, 6, 8- pretmomentu atsperes, 9- releju korpuss.

Pamatojoties uz iepriekš minētajām gāzes releju konstruktīvajām nepilnībām, tika izstrādāti jauni gāzes releji. Kā vienu no tiem var minēt RGČZ-66 gāzes releju. Releja vienkāršota uzbūve parādīta attēlā 2.15. Tam ir divi alumīnija kausi (1 un 2), kuri var rotēt ap asīm (3 un 10). Pie kustīgā kausa malām piestiprināti kustīgie kontakti (4 un 11). Kad kauss(1) pagriežas pulksteņa rādītāju kustības virzienā (ap asi 10), saslēdzas nekustīgais kontakts (5) un noslēdzas signalizācijas ķēde, kas signalizē, ka transformatorā radies neliela apjoma bojājums. Liela iekšējā bojājuma gadījumā, kad caurulē rodas spēcīga eļļas plūsma, kauss (2) pagriežas (ap asi 3) pulksteņa rādītāju kustības virzienā, saslēdz kontaktus (4 un 12) un atslēdz transformatoru. Hidraulisku pretestību eļļas plūsmai rada lāpstiņa (7), kura saistīta ar kausu (2). Relejam ir trīs kalibrētas nomaināmās lāpstiņas dažādiem eļļas plūsmas ātrumiem, pie kuriem nostrādā relejs - 0,6; 0,9 un 1,2 m/s. Atkarībā no tā, cik eļļas plūsmas ātrums relejā pārsniedz iepriekš iestatīto vērtību, transformators tiek atslēgts 0,1 - 0,2 sekunžu laikā. Šis gāzes relejs ir ātrdarbīgs un pret vibrācijām drošs.



2.16.attēls. Buholca gāzes relejs BF-80/Q:

1- spiediena ventīlis, 2- atsevišķi izvietotas plāksnītes, 3- augšējais pludiņš, 4 un 12- spaiļes, 5 un 8- herkonī, 6 un 7- pastāvīgie magnēti, 9- apakšējais pludiņš, 10- metāla korpuss, 11- pievadi kontaktpailēm, 12- kontakspaiļes.

Septiņdesmito gadu sākumā PSRS energosistēmās transformatoru gāzes aizsardzībai sāka lietot Buholca gāzes relejus BF-80/Q. Relejs sastāv no metāla korpusa, vāka un iebūvēta bloka (attēls 2.16.). Lai varētu novērot pludiņu bloka darbību, korpusā izveidots stikla lodziņš. Iebūvētais divpludiņa bloks sastāv no diviem elementiem: augšējā elementa (signālelementa) un apakšējā elementa (atslēdzošā elementa). Augšējam pludiņam (3) ir cieši piestiprināts pastāvīgais magnēts (6). Samazinoties eļļas līmenim, releja korpusā pludiņš (3) pagriežas bultiņas virzienā un magnēts (6) tuvojas magnētiski vadāmam kontaktam, kas izraisa signālķēdes noslēgšanos (spaiļes 4). Gan signālķēdes, gan arī atslēgšanas ķēžu (spaiļes 12) noslēgšanai izmantoti herkonī (5 un 8). Apakšējais (atslēgšanas) elements sastāv no pludiņa (9), kuram cieši piestiprināts pastāvīgais magnēts (7). Magnētiski vadāmo herkona (8) kontaktu un spiediena ventili (aizbīdņi) (1) izejas stāvoklī notur pastāvīgais magnēts. Buholca releja eļļas plūsmas ātruma iestatījums ir 1,0 m/s. Ja eļļas plūsmas ātrums caurulē pārsniedz releja iestatīto vērtību par 25%, relejs nostrādā 0,09 sekundēs. Pazeminoties eļļas līmenim apvalkā, šajā gadījumā nostrādā atslēgšanas elements un transformators tiek atslēgts.

Aplūkojot vairākus gāzes releju tipus, to konstrukcijas un darbības principus, var minēt to priekšrocības:

- a) augsta jutība (reaģē uz vismazākajiem transformatora iekšējiem bojājumiem);
- b) vienkārša un lēta konstrukcija;

- c) ātrdarbība (liela iekšējā bojājuma gadījumā aizsardzība nostrādā 0,09 - 0,2 sekunžu laikā);
- d) vienkārša ekspluatācija un ilgs darba mūžs.

Taču šiem relejiem ir arī šādi trūkumi:

- a) tie reaģē tikai uz transformatora iekšējiem bojājumiem, tāpēc nevar pilnīgi aizvietot maksimālās un garendifrenciālās strāvas aizsardzību;
- b) pēc eļļas iepildīšanas tvertnē no jauna uzstādāmiem transformatoriem un transformatoriem pēc kapitālā remonta aizsardzības ķēde uz laiku, kamēr no transformatora eļļas izdalās gaiss (24 - 72 stundas), jāpārslēdz darbībai uz signālu.

Ievērojot minētos apsvērumus un saskaņā ar EIN transformatoru gāzes aizsardzība jāpapildina ar šādām releju aizsardzības iekārtām:

- 1) transformatoriem ar $S_{nom} \geq 6,3$ MVA ar garendifrenciālo aizsardzību;
- 2) transformatoriem ar S_{nom} no 0,63 MVA līdz 4,0 MVA ar maksimālās strāvas vai momentāno strāvas aizsardzību. (4)

2.2.9. Releju aizsardzības komplekts KZ-12

Releju aizsardzības komplekts KZ-12 paredzēts maksimālās strāvas aizsardzībai daudzfāzu īsslēguma gadījumā. Komplektā esošie releji veido šo aizsardzību ar neatkarīgu laika kavējuma raksturlīkni (to nodrošina konstrukcijā esošais maksimālās strāvas relejs kopā ar laika releju). Komplektu KZ-12 baro ar operatīvo līdzstrāvu. Komplekta ārējais izskats parādīts attēlā 2.17.



2.17. attēls. Komplekta KZ-12 ārējais izskats

Salīdzinot ar citiem komplektiem no KZ sērijas, releju aizsardzības komplekts KZ-12 ir ļoti vienkāršs. Tajā ietilpst divi maksimālās strāvas releji RT-40, laika relejs EV-123 vai EV-133 un signālrelejs RU-21. Citos RA kompleksos, piemēram, komplektā KZ-17 papildus ir iebūvēts vēl viens signālrelejs un starprelejs.

Komplekts sastāv no elektroizolējošas pamatnes, uz kuras nostiprināti releji un izvadu spaiļes, un noņemams caurspīdīga materiāla apvalks, kas aizsargā komplektu no ārējās vides ietekmes un saskares ar citu iekārtu strāvu vadošām daļām. Šāda konstrukcija nenodrošina iekārtas hermētiskumu, jo apvalka aizsardzības pakāpes klase ir IP 40. Tas nozīmē, ka komplekts ir aizsargāts no vidēji lielu svešķermeņu iekļūšanas, bet nav aizsargāts pret ūdens iekļūšanu (11). Komplektam izvadu spaiļes ir izkārtotas pa pamatnes perimetru. Šāds izkārtojums palīdz ērti pārbaudīt atsevišķas komplekta daļas, izvairoties no demontāžas, kā arī dodot iespēju papildināt shēmu, piemēram, ar paātrinātu aizsardzības nostrādi. Komplekta tehniskie dati doti tabulā 2.2. Izgatavotājrūpnīca visiem releju aizsardzības komplektiem, tajā skaitā arī KZ-12, paredz iespēju tos veidot dažādas konfigurācijas, ievērojot pasūtītāja prasības, kombinējot barošanas spriegumus, nostrādes strāvas, nostrādes laika vērtības.

Komplekta KZ-12 parametri	Parametra vērtība
Līdzstrāvas barošanas avota nominālais spriegums, V	24; 48; 110; 220
Ieregulējamās maksimālās strāvas releja nostrādes strāvas vērtības, A	0,2; 0,6; 2; 6; 10; 20; 50; 100
Pieļaujamais barošanas sprieguma novirzes diapazons	$(0,8..1,1)U_{nom}$
Ieregulējamās starpreleja nostrādes strāvas vērtības, A	0,01; 0,015; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,15; 0,25; 0,5; 1; 2
Ieregulējama laika releja kavējuma laiks, s	3,5; 9,0
Svars, kg	9
Gabarīti, mm	313×223×290

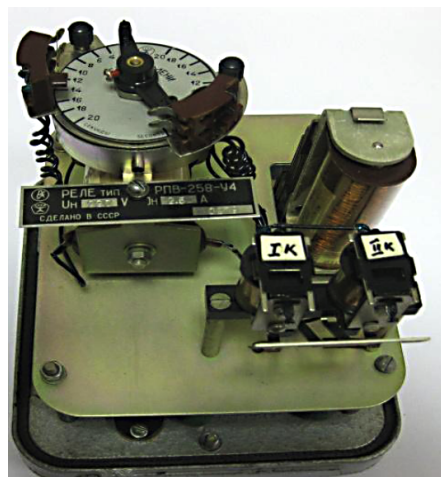
2.2. tabula. Komplekta KZ-12 tehniskie dati

2.2.10. Automātiskās atkārtotās ieslēgšanas (AAI) komplekts RPV-258

Divkārtējas AAI komplekts RPV-258 (attēlā 2.18.) ir viens no nedaudzajiem RAA komplektiem, kura ražošana mūsdienās ir pārtraukta. Divkārtēja AAI gadījumā nepieciešama biežāka eļļas jaudas slēdzurevīzija, jo tiek pastiprināti izmantots komutācijas resurss, kas šiem jaudas slēdžiem ir samērā ierobežots.

Komplekta shēmā ietilpst šādi pamatelementi:

- laika relejs ar trim dažādiem kontaktiem – pārtraucošo, caurslīdošo ar laika kavējumu un noslēdzošo kontaktu ar laika kavējumu;
- divi signālreleji, kas reģistrē attiecīgi pirmo un otro AAI;
- starprelejs, kas ir komplekta izpildelements un dod komandu AAI nostrādei.
- starpreleja divas spoles – sprieguma un strāvas spole;
- divi kondensatori, kas nodrošina divkārtīgu AAI.



2.18. attēls. AAI komplekta RPV-258 ārējais izskats

AAI komplekts paredzēts ieslēgšanai elektriskajā shēmā, kurā tas darbojas kā galvenais posms starp releju aizsardzības un jaudas slēdža piedziņas vadības ķēdēm.

Shēmas darbības pamatā ir kondensatoru izlāde caur starpreleju ar noteiktu laika kavējumu, pieslēdzot paralēli releja spolei pēc kārtas vienu un otru kondensatoru. Saglabājoties īsslēgumam, shēma trešo reizi nestrādā, jo kondensatori nav spējējuši uzlādēties līdz starpreleja nostrādes spriegumam un notiek starpreleja pašbloķēšanās. Kondensatori uzlādējas aptuveni 60 līdz 100 sekunžu laikā, pēc tam AAI komplekts ir gatavs kārtējam AAI darbības ciklam (4).

Komplekta RPV-258 parametri	Parametra vērtība
Līdzstrāvas barošanas avota nominālais spriegums, V	110; 220
Pieļaujamais barošanas sprieguma novirzes diapazons	$(0,8..1,1)U_{nom}$
Laika releja kavējuma laika iestatījumi, s	1 - 20
AAI shēmas atgriešanās laiks izejas stāvoklī, s	60 - 100
Nostrādes operāciju skaits (mehāniskais resurss)	1000

2.3. tabula. Komplekta RPV-258 tehniskie dati

2.3. Digitālās releju aizsardzības iekārtas

2.3.1. Digitālo releju attīstība

Digitālo releju galvenā iezīme ir tā, ka tajos nav iebūvētas kustīgas daļas. Pirmie releji bez kustīgajām daļām parādījās pagājušā gadsimta sešdesmitajos gados. Tos dēvēja par pusvadītāju relejiem vai statiskajiem relejiem. Elektrotehnikā termins „statisks” nozīmē, ka relejam nav kustīgu daļu. Taču pilnībā attiecināt to uz statiskajiem relejiem nevar, jo izvadu kontakti pamatā ir releji ar kustīgām daļām.

Tāpat termins „statisks” nozīmē, ka releja raksturlīkni neveido tā kustīgās daļas. Šie releji projektēti, balstoties uz analogajām elektriskajām ierīcēm, nevis uz elektromehāniskajiem relejiem ar spolēm un magnētiem. Sākotnēji tika izmantoti tranzistori un diodes, ko savienoja ar rezistīvajiem, kapacitatīvajiem vai induktīvajiem elementiem. Vēlāk sāka izmantot digitālās (ciparu) tehnoloģijas. Statiskos relejus var uzskatīt par elektromehānisko releju aizstājējiem ar elastīgākiem iestatījumiem. Tiem ir mazāki izmēri(12).

Pirmie digitālie releji tika izmantoti astoņdesmito gadu sākumā. Analogās ierīces, ko statiskajiem relejiem izmantoja aizsardzības funkciju pildīšanai, nomainīja ar mikroprocesoriem. Šos relejus ar palielinātu informācijas apstrādes kapacitāti daudzos energoobjektos izmanto arī tagad. Digitālajos relejos tika ieviests A/D (no analogā signāla uz digitālo) pārveidotājs, kas pārveidoja analogos signālus un mērījumus uz digitālo datu plūsmu, un mikroprocesors aizsardzības algoritmu izpildei. Salīdzinot ar mūsdienu digitālajiem relejiem, sākotnēji izmantotie mikroprocesori bija ar ierobežotu informācijas apstrādes kapacitāti un atmiņu. Neskatoties uz to, ka šo releju funkcionalitāte

ir ierobežota, tie ir funkcionālāki par elektromehāniskajiem vai statiskajiem relejiem. Tiem ir plašāks iestatījumu diapazons un lielāka precizitāte, bet tos nav iespējams programmēt. Tas iespējams vienīgi, pieslēdzot datoram. Digitālo releju mikroprocesoru ierobežotā jauda samazina mērījumu skaitu, ko iespējams izmērīt periodā, kas noteiktos pielietojumos samazina releja ātrdarbību.

Vecākās un jaunākās paaudzes digitālo releju atšķirības balstās uz tehniskajām detaļām. Jaunākās paaudzes digitālie releji kā skaitļošanas aparāturu kopā ar saistīto programmatūru izmanto specializētu digitālu signālu procesoru (DSP). Šis procesors ir paredzēts signālu apstrādei. Ievadītie analogie signāli tiek pārveidoti digitālā formā un apstrādāti saskaņā ar atbilstošu matemātisku algoritmu. Lai veiktu digitālo signālu apstrādi reālajā laikā, nepieciešams ļoti jaudīgs mikroprocesors. Turklāt mikroprocesoru un ar to saistīto digitālo ierīču cenu nemitīgais izmaksu samazinājums ir pamatā tam, ka viena atsevišķa digitālā iekārta šobrīd nodrošina virkni funkciju. Izmantojot jaudīgus mikroprocesorus, iespējams nodrošināt nepieciešamo skaitļošanas kapacitāti ar lielu skaitu funkciju. Tas, kas agrāk tika īstenots atsevišķās aizsardzības iekārtās, tagad tiek iekļauts vienā universālā aizsardzības iekārtā.

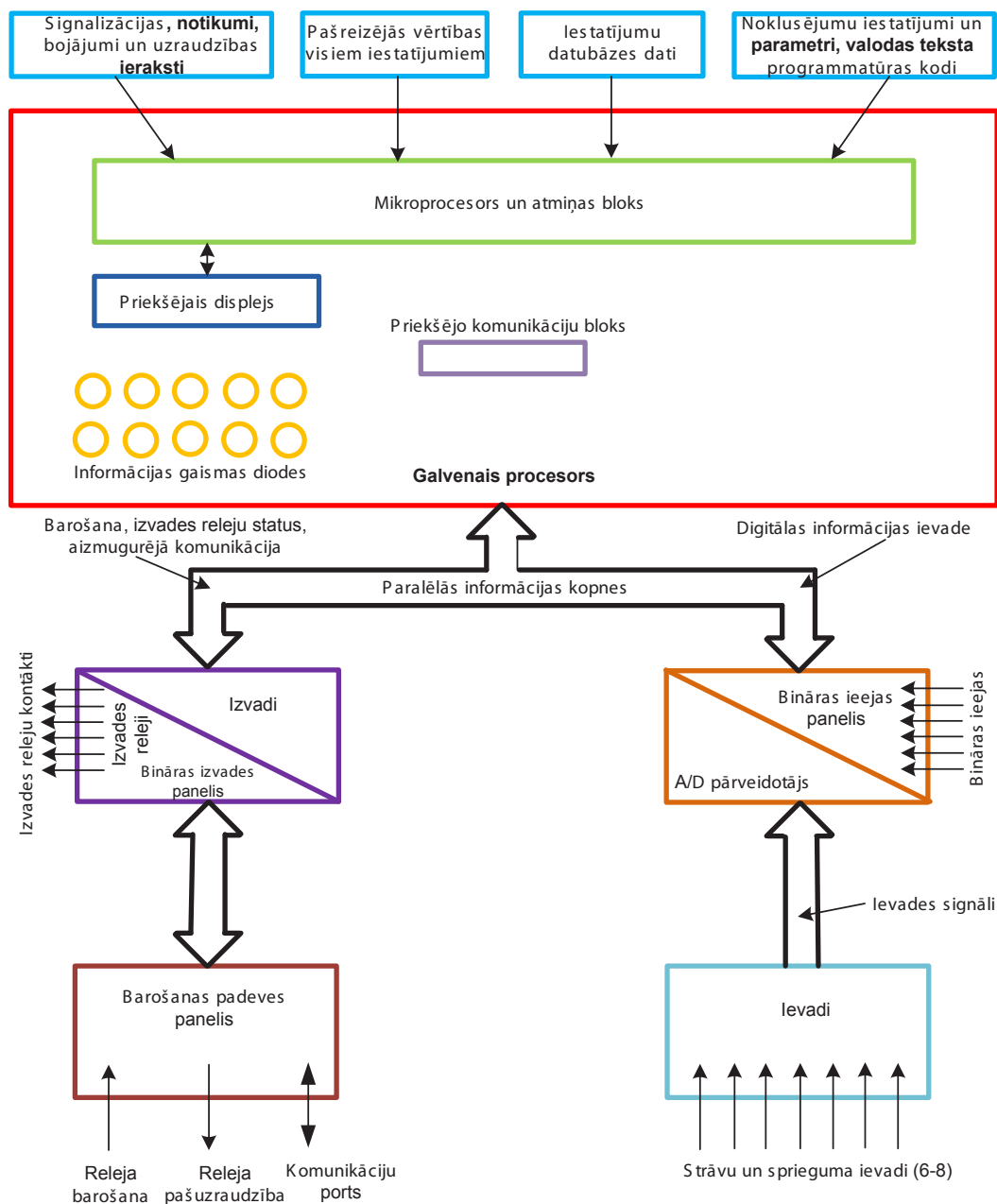
Mūsdienu digitālais relejs var īstenot vairākas funkcijas, kuras agrāk varēja veikt vienīgi ar vairākiem atsevišķiem relejiem. Releja funkcijas jaunajos digitālajos relejos sauc par releja elementiem. Viens digitālais relejs var īstenot vairākas funkcijas, izmantojot vairākus releja elementus (12). Katrs releja elements nozīmē kādu programmatūras režīmu vai vairākus režīmus kopā. Prasība pret daudzu dažādu aizsardzības funkciju ielikšanu vienā relejā ir saistīta ar RAA drošumu un pieejamību. Salīdzinot ar releju aizsardzības komplektiem, kur katrs releju komplekts veic savu aizsardzības funkciju, bojājums digitālajā relejā var radīt visu aizsardzības funkciju pazušānu. Katram digitālajam relejam ir pašuzraudzības funkcija jeb „iekšējais releja bojājums”, kas veic procesora, funkcionēšanas bloka un ieeju/izeju plates nepārtrauktu uzraudzību. Ja tiek konstatēta novirze no digitālā releja normālā darbības režīma, releja pašuzraudzības funkcija ar gaismas indikāciju un fizisko (caur speciāli paredzētu kontaktu) signālu informē operatīvo personālu. Programmatūras problēmas ir samazinātas, pamatojoties uz plašām projektēšanas un ražošanas pārbaudēm (tiks apskatītas vēlāk) un iespējamību uzlabot darbā esoša releja funkcijas, instalējot uzlabotu programmatūru tā atmiņā. Pieredze rāda, ka digitālie releji ir tikpat droši un uzticami, kā agrāko paaudžu releji.

Digitālo releju priekšrocības, salīdzinot tos ar statiskajiem un elektromehāniskiem relejiem:

- 1) Vairākas iestatījumu grupas;
- 2) Plašākas parametru regulēšanas iespējas;
- 3) Iebūvēti porti pieslēgšanai pie dispečervadības sistēmas;
- 4) Pašuzraudzība vai „iekšējais releja bojājums”;
- 5) Strāvas, sprieguma, frekvences, tiešās secības, pretējās secības, nullsecības mērījumi reālā laikā;
- 6) Attāluma noteikšana līdz bojājuma vietai;
- 7) Bojājumu parametru saglabāšana atmiņā;
- 8) Papildus aizsardzības funkcijas;
- 9) Jaudas slēdža primāro kontaktu, atkarībā no atslēgtās īsslēguma strāvas lieluma un atslēgšanas skaita, nodiluma uzskaitē;
- 10) Lietotāja definēta loģika;
- 11) Darbība nav atkarīga no releja nostrādes biežuma un reižu skaita.

2.3.2. Digitālo releju struktūra

Digitālā releja pamatstruktūra parādīta attēlā 2.19. Relejs sastāv no viena vai vairākiem mikroprocesoriem, kas apstrādā informāciju, un atmiņas bloka, kur tiek uzglabāta darbībai nepieciešamā informācija (iestatījumi) un informācija par reģistrētiem bojājumiem, notikumiem un mērījumiem, binārajām un analogajām ieejām un izejām, un barošanas padeves. Tur, kur iebūvēti vairāki mikroprocesori, viens no tiem kalpo, lai izpildītu aizsardzības releja algoritmus, bet pārējie palīdz nodrošināt cilvēka un mašīnas saskari - ļauj lietotājam ievadīt un saņemt informāciju, mainīt releja iestatījumus un tml.



2.19.attēls. Digitālā releja struktūra

Digitālā releja svarīga sastāvdaļa ir iekšējās komunikācijas kopne vai mātesplate, kas savieno releja elementus. Iekšējās komunikācijas kopnei ir jābūt ātrdarbīgai, jāizmanto zems spriegums un jābūt aizsargātai pret elektromagnētiskajiem traucējumiem, ko var radīt citas elektriskās iekārtas. Svarīgākajiem releja elementiem ir jābūt ekranētiem. Lai novērstu nevēlamu īslaicīgu svārstību nokļūšanu releja iekšējās ķēdēs, binārās ieejas ir galvaniski atdalītas. Lai saglabātu mērījumu precizitāti, izslēdzot nevēlamās īslaicīgās svārstības (12), arī analogās ieejas tiek atdalītas galvaniski.

Analogie signāli tiek pārveidoti digitālajos, izmantojot A/D pārveidotāju. Lētākais veids

ir izmantot vienu A/D pārveidotāju, pirms tā novietojot multipleksoru. Multipleksors ir ierīce, kas katru no ieejas signāliem pēc kārtas pārsūta uz pārveidotāju. Dārgāka alternatīva ir katrai ieejai nodrošināt A/D pārveidotāju un loģiku, kas nodrošina, ka visi pārveidotāji darbojas sinhroni (12).

2.4. Latvijā populārākie vidējā sprieguma digitālie releji

Latvijā populāri ir Eiropas Valstu uzņēmumu ražotie digitālie releji – ABB (Zviedrija), SIEMENS (Vācija), ALSTOM (Francijas). Katram šim uzņēmumam ir liela pieredze elektrisko ierīču, tajā skaitā digitālo releju ražošanā. Konkurējošo firmu ražoto releju funkcijas ir līdzīgas vienīgi ir atšķirības programmēšanas loģikā.

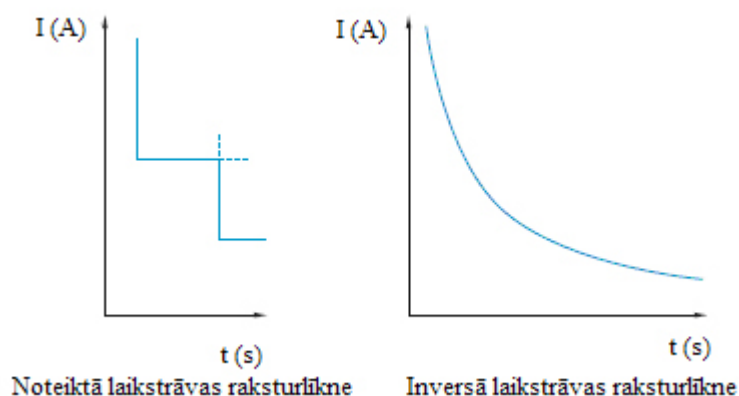
Digitālie releji vidējam spriegumam (turpmāk tekstā - digitālie releji) piedāvā plašu releju aizsardzības klāstu. Tie tiek izmantoti līniju, kopņu un transformatoru dzinēju un ģeneratoru aizsardzībai. Digitālo releju pamatfunkcijas:

- 1) Distances aizsardzība – dažādām shēmām (arī tādām, ko definē lietotājs);
- 2) Maksimālās strāvas aizsardzība (virzīta / nevirzīta);
- 3) Pretējās secības strāvas aizsardzība;
- 4) Minimālā sprieguma aizsardzība;
- 5) Maksimālā sprieguma aizsardzība;
- 6) Jaudas slēdža bojājuma aizsardzība;
- 7) Bojājuma vietas noteikšana;
- 8) Strāvas ķēžu kontrole;
- 9) Sinhronisma kontrole;
- 10) Automātiska atkārtota ieslēgšana;
- 11) Jaudas slēdža resursu uzraudzība;
- 12) Jaudas slēdža atslēgšanas ķēžu uzraudzība;
- 13) Lietotāja definēta loģika;
- 14) Vairākas iestatījumu grupas aizsardzības vērtībām;
- 15) Bojājumu / notikumu saglabāšana atmiņā.

Digitālā releja priekšpusē atrodas gaismas diodes un šķidro kristālu displejs, kas parāda mērījumu, bojājumu un vadāmo vai aizsargājamo objektu stāvokļa indikāciju, kā arī taustiņi, ar kuriem iespējama navigācija un iestatījumu maiņa. Līdz 50ms ilgi sprieguma padeves pārtraukumi nerada traucējumus digitālā releja darbībā. Tam ir iespējami iestatījumi ar un bez laika kavējuma.

Digitālais relejs var tikt izmantots kā aizsardzības kontroles un uzraudzības relejs 6-20kV sprieguma sadales fīderos un līnijās. Maksimālās strāvas/virzītas maksimālās strāvas

raksturlīknes var būt noteikta laika, inversa (atkarīgā) laika vai lietotāja definētas (skatīt attēlu 2.20.). Relejs var veikt aizsardzības funkcijas jebkura lieluma asinhronajiem dzinējiem. Dzinēju aizsardzība ietver minimālās strāvas uzraudzību un palaišanas laika pārraudzību. Relejam ir viegli lietojamas lokālas kontroles un automatizācijas funkcijas. Integrētā programmējamā loģika ļauj izveidot jaunas aizsardzības funkcijas.



2.20. attēls. Strāvas raksturlīknes

Ar digitālajiem relejiem papildus var veikt arī uzraudzības funkcijas:

- 1) Izmērīto vērtību attēlošanu;
- 2) Jaudas mērījumus;
- 3) Jaudas slēdžu nodiluma uzraudzību;
- 4) Aizsardzības ķēžu uzraudzību;
- 5) Drošinātāju bojājumu uzraudzību;
- 6) Bojājumu ierakstus oscilogrāfā.

No releja priekšējā panelī izvietotā displejavadības funkcija ļauj kontrolēt jaudas slēdžus (binārajām ieejām un izejām) vai dispečeru vadības sistēmu (DVS). Displeja ekrānā tiek attēlots primāro iekārtu (jaudas slēdža, atdalītāja, zemētājs un c.) operatīvais stāvoklis. Programmējamā loģika ļauj lietotājam izveidot nepieciešamās funkcijas jaudas slēdžu aizsardzībai vai apakšstacijas automatizācijai.

Digitālā releja frekvence 50 vai 60 Hz, strāva 1A vai 5A un spriegums 100V. Releja barošanas spriegums var būt diapazonā no 24 līdz 250 V. Iespējams relejam izmantot gan līdzspriegumu, gan maiņspriegumu.

Digitālajiem relejiem pamatā ir trīs analogās ieejas - trīs mērījumu ievadi, lai mērītu trīsfāzu strāvu (iespējams, arī ceturtais ievads nullsecības strāvas mērīšanai) un trīs sprieguma ievadi, lai mērītu trīsfāzu sistēmu, un ceturtais – nullsecības sprieguma mērīšanai.

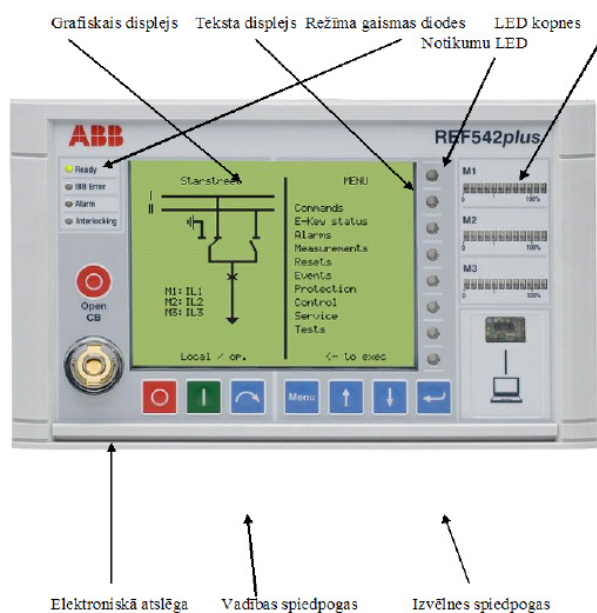
Caur A/D pārveidotāju signāli tiek nosūtīti uz mikroprocesoru, kur tos apstrādā kā skaitliskas vērtības atbilstošos algoritmos. Releja aizsardzības un vadības funkcijas tiek apstrādātas mikroprocesorā. Mikroprocesors kontrolē un uzrauga mērījumus, kā arī veic:

- 1) Izmērīto vērtību filtrēšanu un sagatavošanu;
- 2) Pastāvīgu izmērīto vērtību uzraudzību;
- 3) Iekšējo elementu un funkciju uzraudzību;
- 4) Robežlielumu novērtēšanu /salīdzināšanu ar iestatījumiem;
- 5) Loģisko funkciju signālu kontroli;
- 6) „Pieņem lēmumus” par releja nostrādi (un citu komandu izpildi);
- 7) Caur binārajām izejām nodod vadības komandas jaudas slēdžiem;
- 8) Ieraksta notikumus;
- 9) Vada darbības sistēmu un saistītās funkcijas - informācijas ierakstīšanu, pulksteni, komunikācijas un interfeisus.

Piemēram, digitālais relejs REF542plus ir daudzfunkcionālas aizsardzības un kontrolējamo objektu vadības bloks, kas ir viens no veiksmīgākajiem izgudrojumiem. Sākotnējais tirgus pieprasījums bija 2000 eksemplāru, šobrīd pasūtītājiem tiek piegādāts ap 50 000 vienību. Tas aprīkots ar dažādām aizsardzības un kontroles funkcijām (13) un tiek ekspluatēts visos pasaules kontinentos.

Releja integrētā programmējamā loģika ļauj izveidot jaunas aizsardzības un automātikas funkcijas.

Releja REF 542plus paneļa vadības bloks (attēlā 2.21.) satur šķidro kristālu (LCD) displeju, astoņas spiedpogas, dažas gaismas diodes (LED) un elektroniskās atslēgas interfeisu.



2.21.attēls. Releja REF542plus vadības bloks

Apgaismojams LCD displejs: nodrošina releja REF542plus kontrolētās slēgiekārtas komutējamo ierīču grafiskā stāvokļa attēlošanu. Atbilstoši vajadzībām var iestatīt apgaismošanas intensitāti un ilgumu. Vienlīnijas shēma parāda slēgiekārtas komutācijas ierīču pašreizējo (operatīvo) stāvokli. LCD displeja labā puse paredzēta tekstam - aizsardzības signālu un notikumu ierakstiem, mērījumu vērtībām, galvenās izvēlnes un apakšizvēlnu aprakstiem.

Režīma gaismas diodes (LED): sistēmas četras LED gaismas diodes indicē releja REF542plus režīmus.

Gatavības režīms - releja priekšējā panelī darbības režīms nosaukts „Ready” (gatavs) un tiek indicēts ar LED zaļā krāsā. Ja šī gaismas diode nedeg, piemēram, gadījumā, ja notiek slēgiekārtas darbības konfigurācijas izmaiņas vai arī centrālais bloks konstatējis ierīces bojājumu, relejs nav gatavs veikt darbību (nostrādi).

Komunikāciju režīms - releja priekšējā panelī komunikāciju režīms nosaukts „NetworkCommunication” (tīkla komunikācijas). Lai REF542plus releju pievienotu apakšstacijas dispečervadības sistēmai, nepieciešams paplašinājums ar atbilstošu komunikāciju plati. Šajā gadījumā komunikāciju plates korektu darbības stāvokli uzrādīs LED gaismas diode (zaļā krāsā). Komunikācijas traucējumu gadījumā gaismas diodes indikācijas krāsa mainās pret sarkanu.

Brīdinājuma režīms (indikācija) – releja priekšējā panelī režīms nosaukts „Alarm”. Nostrādājot strāvas aizsardzībai, zemesslēguma aizsardzībai, SBA, LA, Umin, releja bojājumam vai tml., iedegas LED gaismas diode sarkanā krāsā.

Bloķēšanas režīms - ja nav pārkāpts neviens no bloķēšanas nosacījumiem, LED deg zaļā krāsā. Bloķēšanas nosacījumu pārkāpšanas gadījumā, piemēram, atdalītāja ieslēgšana pie ieslēgtā jaudas slēdža (CB), diodes indikācijas krāsa mainās uz sarkanu.

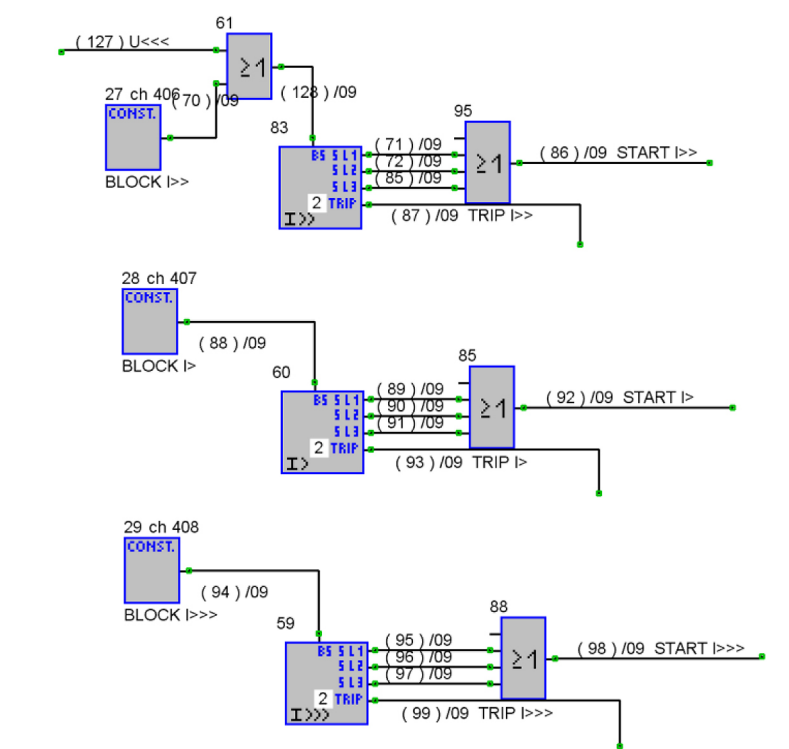
Gaismas diožu (LED) indikācija - LED var darboties divos režīmos. Režīmā bez sprūda (paliekošā) efekta, LED krāsa mainās, tiklīdz indicētā režīma apstākļi pazūd, piemēram, tiek atjaunots pirms tam pazudis operatīvais spriegums. Sprūda režīmā LED krāsa tiek saglabāta arī tad, kad pazūd indikācijas nosacījumi. Šajā gadījumā LED indikāciju var kvītēt, ieejot atgriešanas lappusē un veicot atbilstošās darbības. Atgriešana iespējama jebkurā releja darbības režīmā.

Vadības spiedpogas: tās lieto slēgšanas ierīču darbināšanai lokāli (no digitālā releja). Pieejamas astoņas spiedpogas.

Spiedpogas izvēlnēm un pārvietojumiem tajās: izvēlnes pārlūkošanai displejā attiecīgās izvēlnes laukā paredzētas trīs spiedpogas.



Vadības spiedpogas: lokālai slēgšanas ierīču darbināšanai paredzētas sekojošas vadības spiedpogas:



2.22.attēls. Releja REF542 plus strāvas aizsardzības logika

2.5. Digitālo releju pārbaudes

2.5.1. Pārbaūžu veidi un to iedalījums

Digitālo releju aizsardzības (tālāk tekstā: releju aizsardzības) iekārtu pārbaudes nepieciešamas, lai pārliecinātos, ka relejs pareizi pilda visas tam paredzētās funkcijas un iekļaujas visos specifiskajos standartos. Tā kā releja galvenā funkcija ir strādāt avārijas apstākļos, kad notiek bojājums, veicot releju aizsardzības iekārtu pārbaudes, nepieciešams izvērtēt releja darbību tieši šajos apstākļos. Nav nozīmes pārbaudīt releju darbību pie normāla darba režīma elektriskās sistēmā. Tādēļ ražotāji jaunu releju aizsardzības iekārtu izgatavošanas un sertifikācijas periodā veic plašas to pārbaudes, kurās pārbauda releja darbību dažādos režīmos, iespējamās darbības vides ietekmi uz releju, tai skaitā to transportēšanas ietekmi. Relejus ir jāpārbauda uzstādot un vēlāk jāveic to periodiskās pārbaudes, jo laikam ritot, iekārtas noveco un pieaug kļūdu risks to darbībā. Releju aizsardzības iekārtu pārbaudes ir ļoti svarīgas, jo releju aizsardzības iekārtas ir kļuvušas sarežģītākas, tās balstās uz datortehnoloģijām un vienā releju aizsardzības iekārtā var būt iebūvētas visas nepieciešamās aizsardzības funkcijas. Praksē lieto šādus releju aizsardzības pārbaudes veidus:

- 1) Projektēšanas un ražošanas pārbaudes;
- 2) Darbā palaišanas pārbaudes;
- 3) Periodiskās pārbaudes.

2.5.2. Projektēšanas un ražošanas pārbaudes

Tā kā digitālo releju pārbaudes ietver kā iekārtas, tā arī programmatūras pārbaudes, tad projektēšanas un ražošanas (turpmāk tekstā - ražošanas pārbaudes) pārbaūžu process ir daudz komplicētāks kā elektromehāniskajiem relejiem. Ražošanas pārbaudes var iedalīt: elektriskā veida pārbaudes, elektromagnētiskās savienojamības pārbaudes, produkcijas drošuma pārbaudes, apkārtējās vides iedarbības pārbaudes un programmatūras pārbaudes (12).

2.5.2.1. Elektriskās pārbaudes

Eksistē dažādas elektriska veida pārbaudes. Mācību palīgglīdzeklī aprakstītas funkcionālās pārbaudes, klases novērtējuma pārbaudes, termiskās izturības pārbaudes, slodžu pārbaudes, izolācijas pārbaudes un papildus barošanas pārbaudes.

Funkcionālajās pārbaudēs tiek pārbaudīti un mērīti attiecīgie releja ievadi, lai noteiktu, vai releja mērījumi un tālākā funkcionālā darbība ir pareiza.

Klases novērtējuma pārbaudēs pārliecinās, ka releja komponentes tiek izmantotas atbilstoši to lietošanas klasei.

Termiskās izturības pārbaudes veic, lai pārlicinātos, ka strāva no strāvmaiņiem, vai spriegums no spriegummaiņiem, ilgstošas vai īslaicīgas pārslodzes apstākļos neapdraud releju darbību.

Slodžu pārbaudēs noskaidro, vai relejs iztur paredzamo slodzi, ja slodze uz releju pieaug, palielinoties noslogoto ieeju un izeju skaitam.

Izolācijas pārbaudēs pārbauda visu iekārtas elementu un pašas iekārtas izolācijas izturību.

Papildus barošanas pārbaudes digitālajiem relejiem veic, jo, lai relejs funkcionētu, to iekšējiem elementiem ir nepieciešama neatkarīga papildus barošana. Tā var būt gan maiņstrāva, gan līdzstrāva, gan neatkarīgi barošanas avoti – baterijas, ģeneratori u.c., Visos minētajos barošanas avotos ir iespējamās sprieguma novirzes, īsi traucējumi (pārtraukumi) un sprieguma svārstības. Digitālie releji tiek projektēti tā, ka elektroapgādes traucējumu gadījumā tiem jāturpina pareizi strādāt. Pārbaudes tiek veiktas gan ar maiņstrāvu, gan līdzstrāvu (ar paaugstinātu un pazeminātu spriegumu).

2.5.2.2. Elektromagnētiskās savietojamības pārbaudes

Pārbaudes tiek veiktas, lai noteiktu releja spēju izturēt elektrisko vidi, kurā tam būs jāstrādā. Elektriskās apakšstacijās traucējumu avoti var būt gan tur izvietotās elektroietaisēs, gan ārēji traucējumi no augstsprieguma līnijām. Visbiežākie elektromagnētisko traucējumu avoti ir energosistēmas iekārtas bojājumi - zibens, izolācijas bojājumi, telekomunikāciju traucējumi (piemēram, mobilie sakari). Pārbaudes, kurās simulē šos traucējumus tiek sauktas par **elektromagnētiskās savienojamības pārbaudēm**. Elektromagnētisko savienojamību var aprakstīt kā dažāda veida aparātūras iespēju strādāt vienā elektromagnētiskā vidē. Tajās pārbauda:

- a) papildus barošanas traucējumu ilgumu, ko relejs var izturēt neatslēdzoties. Ja traucējums ir ilgstošs un relejs atslēdzas, pārbauda, vai relejs nezaudē iestatīto informāciju un nenostrādā kļūdaini.
- b) vai relejs ir spējīgs strādāt pareizi, uzlādējot akumulatoru baterijas no maiņstrāvas. Pārbaudes veic, izmantojot maiņstrāvas taisngriežu ierīces, paralēli pievienojot tās bateriju barošanai.
- c) simulē bojātas apakšstacijas baterijas uzlādēšanas ierīci, nodrošinot, ka spriegums, kas baro digitālo releju, lēnām samazinās.
- d) augstfrekvences traucējumu ietekmi. Šajās pārbaudēs simulē īslaicīgi augstu spriegumu, piemēram, kas ir radies elektriskās sistēmas bojājumu dēļ vai veicot pārslēgumus apakšstacijā.

- e) traucējumus, kas rodas pie tuviem apakšstacijai īsslēgumiem, piemēram, zibens spērieniem gaisvadu līnijās līdz 5km attālumā no apakšstacijas.
- f) traucējumus, kas rodas, ja energosistēmā ir bojājums, kura rezultātā lielas strāvas plūst primārajos vadītājos vai zemējuma tīklā.
- g) statiskā sprieguma traucējumus, kas rodas, kad cilvēks pieskaras releja priekšējam panelim, kad tas ir uzlādēts ar augstu potenciālu. Līdzīga situācija ir gadījumos, kad cilvēks, kāpjot ārā no automašīnas un verot ciet durvis, saņem statiskās elektrības triecienu, jo notiek potenciālu izlīdzināšanās.
- h) vai iekārta ar savu vadīto un izstaroto emisiju netraucē citai iekārtai. Vadītās emisijas tiek mērītas tikai no iekārtu barošanas ievadiem. Izstaroto emisiju mērījumi tiek veikti, lai pārliecinātos, ka izstaroto traucējumu līmenis ir zems un tas nerada traucējumus citām iekārtām. Šī pārbaude tiek veikta vietās, kur nav citu iekārtu, kas varētu ietekmēt pārbaudes rezultātus.
- i) vai iekārta ir aizsargāta pret dažāda līmeņa elektromagnētiskajiem traucējumiem, ar ko tā var saskarties. Pārbaudes laikā pieņem, ka relejs ar tam pievienoto shēmojumu ir antena (12). Frekvences pārbaudei tiek izvēlētas tā, lai tās sakristu ar radio frekvencēm un mobilo sakaru frekvencēm. Pārbaudē pārliecinās, ka apkalpojošais personāls, strādājot digitālo releju tuvumā un lietojot radio aparātus un mobilos telefonus, neietekmē releja darbību.
- j) vai releja darbība ir aizsargāta pret magnētiskajiem traucējumiem (statiskiem, pulsējošiem vai rimstošiem), ja tas atrodas tuvumā primārām iekārtām.

2.5.2.3. *Produkcijas drošuma pārbaudes*

Lai pārliecinātos, ka digitālais relejs ir drošs ilgstošai lietošanai, tiek veiktas atsevišķas specifiskas pārbaudes:

- a) dielektriskās sprieguma izturības pārbaude. Pārbauda gaisa atstarpes, pārliecinoties, ka produkts ir drošs, strādājot normālos darbības apstākļos.
- b) izolācijas izturības pārbaude pārspriegumu gadījumā. Tās mērķis ir pārliecināties, ka relejs un tās komponentes iztur elektriskās sistēmas pārspriegumus, piemēram zibens radītos.

2.5.2.4. *Apkārtējās vides ietekmes pārbaudes*

Pārbaudēs pārliecinās, vai relejs var izturēt apkārtējās vides iedarbību. Tās ietver šādas pārbaudes: temperatūras, mitruma, piekļuves aizsardzības un mehāniskās pārbaudes. Temperatūras pārbaudes tiek veiktas, lai pārliecinātos, ka relejs var izturēt maksimālās temperatūras (paaugstinātas un pazeminātas), kas iespējamās to pāravadā, uzstādot, un ekspluatējot. Mitruma pārbaudes tiek veiktas, lai pārliecinātos, ka iekārta strādās pareizi relatīvajam mitrumam līdz 93% pie temperatūras +40°C 56 dienas (12). Pārbaudes beigās tiek veikta releja vizuāla apskate, lai pārliecinātos, vai nav parādījusies korozija vai

pelējums. Pie šīm pārbaudēm pieder arī cikliskas temperatūras un mitruma pārbaudes. Tās ir īslaicīgas pārbaudes, kurās pakļauj releju temperatūras cikliskām izmaiņām mijiedarbībā ar augstu mitruma pakāpi. Pārbaudes laikā relejs tiek ievietots speciālā mitruma kamerā un tas pārbaudes laikā darbojas normālajā darba režīmā. Releja mērāmās strāvas un spriegumi ir 90% līmenī no iestatītajiem(12). Kad relejs tiek izņemts no mitruma kameras, tā izolācijas pretestība tiek izmērīta, lai pārliecinātos, ka tā nav pazeminājusies zem pieļaujamā līmeņa. Pēc tam relejs atkal tiek funkcionāli pārbaudīts un izjaukts, lai pārbaudītu, vai kāda tā daļa nav sākusi korodēt. Korpusa aizsardzības pārbaudes tiek veiktas, lai pārliecinātos, ka tas ir aizsargāts pret putekļiem, mitruma, ūdens un citiem piesārņotājiem. Pārbaudes laikā, ja vien tas netraucē releja normālu darbību un nemazina darbības drošumu, ir pieļaujama neliela putekļu vai mitruma iekļūšana korpusā.

Mehāniskās pārbaudes laikā simulē dažādus apstākļus, ar ko relejam būs jāsaskaras ekspluatācijas laikā. Pirmā pārbaude tiek koncentrēta uz releja pārbaudi pret vibrāciju, triecieniem un seismiskajiem traucējumiem. Pārbaudes veic tā, lai simulētu normālus darba apstākļus, piemēram, zemestrīci. Lai pārliecinātos par releja pareizu darbību, pārbaudes laikā tiek kontrolēti releja izvadi. Otrās pārbaudes laikā relejs tiek pakļauts ilgstošām vibrācijām un dažāda veida triecieniem. Tajās simulē apstākļus, kas var rasties releju transportējot. Veicot mehāniskās pārbaudes, relejs nav jāpievieno barošanai.

2.5.2.5. *Programmatūras pārbaudes*

Lai veiktu releju aizsardzības un mērījumu funkcijas, digitālajos relejos izmanto speciālu programmatūru. Programmatūras pārbaudēm ir jābūt vispusīgām. Tajās jāpārliecinās, vai relejs izpilda visas paredzētās funkcijas un dažāda veida traucējumi nerada izmaiņas releja darbībā. Programmatūra tiek pārbaudīta vairākos etapos:

- 1) Elementu pārbaudes;
- 2) Apvienotās pārbaudes;
- 3) Funkcionālā novērtējuma pārbaudes.

Elementu pārbaudes mērķis ir noteikt, vai atsevišķa programmatūras funkcija vai procedūra, vai neliela grupa radniecīgu funkciju, ir brīva no informācijas apstrādes, loģisko operāciju vai iestatījumu standartu kļūdām. Šīs kļūdas ir daudz vienkāršāk noteikt atsevišķos elementos vai mazās elementu grupās, nevis pārbaudot visu programmatūru kopumā.

Apvienotās pārbaudes ir vērstas uz interfeisiem un problēmām, kas saistītas ar izpildi un laika sinhronizāciju un tās nav saistītas ar elementu pārbaudēm. Apvienotās pārbaudes fokusējas arī uz programmatūras un interfeisu noslogošanu.

Funkcionālā novērtējuma pārbaudes tiek iedalītas:

- 1) **Statiskās elementu pārbaudes.** Šīs pārbaudes, dēvētas arī par statisko analīzi, analizē elementa avotu kodu sarežģītību un precīzu koda atrašanos (12).
- 2) **Dinamiskās pārbaudes.** Dinamiskās pārbaudes iedala „melnās kastes” un „baltās kastes” pārbaudēs. „Melnās kastes” pārbaudēs pārlicinās, vai noteiktais elements izpilda savu uzdevumu pareizi. Šajās pārbaudēs neņem vērā pārbaudāmā elementa iekšējo struktūru. „Baltās kastes” pārbaudes attiecas uz elementa iekšējās struktūras pārbaudi un elementa kodu izpildes pārbaudi. Pārbaudes mērķis, piemēram, var būt 100% priekšrakstu izpilde, kurā katrs elementa kods tiktu izpildīts vismaz vienu reizi, vai jebkura iespējamā elementa operācijas izpilde vismaz vienu reizi (12).

Programmatūras pārbaudes laikā relejs jau ir pieslēgts un tiek noteikts, vai binārā (1/0) loģika strādā pareizi. Pēc pārbaudžu veiksmīgas pabeigšanas relejā var lejupielādēt attiecīgo programmatūru un saglabāt to releja atmiņas blokā.

2.5.2.6. Programmatūras modifikāciju pārbaudes

Šīs pārbaudes veic gadījumā, ja tiek uzlabota jau ekspluatācijā esošā programmatūra. Pārbaudē pārlicinās, ka atsevišķu programmatūras elementu uzlabošana negatīvi neietekmē citu elementu darbību. Katra programmatūras elementa izmaiņa tiek aplūkota atsevišķi.

2.5.3. Pārbaudes pirms pieņemšanas ekspluatācijā

Šajās pārbaudēs pārlicinās, ka aizsardzības iekārta ir uzstādīta un ir iestatīti pareizi iestatījumi, kā arī veic vadu savienojumu pārbaudes, atsevišķu elementu individuālās pārbaudes, kā arī visas releju aizsardzības ķēžu kopdarbības pārbaudi. Pieļaujot kļūdas, ieregulējot releju aizsardzību, ekspluatācijā tas var izsaukt neparedzamas sekas. Pat ja relejs ticis pārbaudīts rūpnīcā, to instalējot, vadi var tikt nepareizi savienoti, piemēram strāvmaiņu un spriegummaiņu. Šādu kļūdu sekas nav prognozējamas. Tās var būt nelielas, bet arī iespējami gadījumi, notiekot bojājumam energosistēmā, un ja relejs nenestrādā, tas izsauc energosistēmas iekārtas nopietnus bojājumus, elektroapgādes pārtraukumus klientiem un potenciālus draudus apkalpojošam personālam. Lai izvairītos no šādām kļūmēm, ir jāizmanto attiecīgā pārbaudes metodika. Pieņemšanas pārbaudes veic releju aizsardzības iekārtu darba vietās pirms to ieslēgšanas darbā.

Pieņemšanas pārbaudžu mērķi:

- a) pārlicināties, ka aparatūra nav bojāta transportēšanas un instalācijas laikā;
- b) pārlicināties, ka uzstādīšanas un ieregulēšanas darbs ir veikts pareizi;
- c) pārlicināties par aizsardzības shēmas pareizu darbību.

Pārbaužu veidi mainās atkarībā no lietojamās aizsardzības shēmas, releju tehnoloģijas un klientu prasībām. Daudzos gadījumos klients un personāls mutiski vienojas par veicamajām pārbaudēm. Pamatā tiek veiktas sekojošas pārbaudes:

- 1) Elektrisko ķēžu shēmas pārbaudi;
- 2) Iekārtu apskati, pārbaudot visus releju savienojošos vadus;
- 3) Shēmu izolācijas mērījumi;
- 4) Releja pašpārbaude un ārējas komunikācijas pārbaude;
- 5) Strāvmaiņu un spriegummaiņu pārbaudes;
- 6) Releja signalizācijas un nostrādes iestatījumu pārbaudes;
- 7) Nostrādes un signalizācijas pārbaudes.

2.5.4. Periodiskās pārbaudes

Pārbaudes ir nepieciešamas, lai pārliecinātos, ka aizsardzības shēma turpina darboties saskaņā ar iestatījumiem pēc noteikta laika perioda. Periodiskajās veic šādas pārbaudes:

- 1) Iekārtu vizuālo apskati, pārbaudot visus releju ķēdesvadu savienojumus;
- 2) Izolācijas mērījums;
- 3) Releja iestatījumu pārbaudes;
- 4) Ārējo komunikāciju pārbaudes digitālajiem relejiem;
- 5) Strāvmaiņu un spriegummaiņu pārbaudes;
- 6) Aizsardzības ķēdes kopdarbības pārbaudes.

Jebkura iekārta, tajā skaitā arī RA, ar laiku noveco. Periodiskās pārbaudes ir paredzētas, lai pārbaudītu, vai iekārtas nav nepieciešams remontēt. Tā kā aizsardzības iekārtai jānostrādā tikai bojājumu gadījumā, tad iekšējie defekti var palikt nepamanīti ilgu laiku, līdz elektriskajā sistēmā notiek bojājums. Pamatā ir divi veidi, kā pārliecināties par releja un visas aizsardzības shēmas pareizu darbību. Pirmais veids ir gaidīt bojājumu elektriskajā sistēmā. Otrs veids ir veikt vispusīgu pārbaudi ar elektriskās sistēmas bojājumu simulējošu aparātu (turpmāk tekstā - pārbaudes iekārtu). Pirmais veids tiek izmantots ļoti reti, jo pārbaudes laiks nav noteikts. Šajā gadījumā, ja releju aizsardzības darbība būs kļūdaina, tas var izsaukt elektroapgādes pārtraukumu klientiem, kā arī bojājumu elektroietaisēs. Izmantot primārās pārbaudes iekārtas pārbaude ir vienkāršāka un lētāka. Modernajās pārbaudes iekārtās elektrisko sistēmu modelē, izmantojot datortehnoloģijas. Releju ķēdes pārbaudes tiek dēvētas par sekundāro ķēžu pārbaudēm. Sekundārās pārbaudes mērķis ir pārliecināties, ka aizsardzības shēma, sākot no releja ievadiem, darbojas pareizi, saskaņā ar iestatījumiem. Tas tiek panākts, sūtot signālus no pārbaudes iekārtas izvadiem uz pārbaudāmā releja ievadiem un pārbauda, vai relejs pareizi nostrādā. Pārbaužu apjoms tiek noteikts pēc pieprasījuma un izmantotās releja tehnoloģijas. Tās var būt, sākot no vienkāršas releja raksturlīknes pārbaudēm līdz pilnīgai shēmas nostrādes raksturlīkņu

pārbaudei, iekļaujot augstāko harmoniku īslaicīgas izmaiņas. Sekundārās pārbaudes jāveic noteiktos laika intervālos. Pārbaudīto periodiskumu nosaka pamatojoties uz ekspluatācijas iepriekšējo pieredzi, ražotāja noteikumiem un informāciju par releja darbību iepriekšējā laika periodā. Pārbaudes laikā ir jāveic visu releja funkciju pārbaudes.

2.6. Releju aizsardzības sekundārās pārbaudes iekārtas

Sekundāro pārbaudīto mērķis ir pārliecināties par releju aizsardzības sekundārās shēmas pareizu darbību. Šajā pārbaudē, lai neizsauktu bojājumus, relejs ir atvienots no primārās (augstsprieguma) puses.

Releju pārbaudīto bloki vai pārbaudīto ligzdas veidotas tā, lai viegli, bez liekiem un traucējošiem vadu savienojumiem varētu tikt veidoti savienojumi ar pārbaudes iekārtām.

Pārbaudes iekārtas izvēli nosaka pārbaudāmā releja tips. Daudzas pārbaudes iekārtas ir pārnēsājamas un tajās ir iebūvēti ampēometri un voltmetri. Pārbaudes iekārtām ir gan strāvas, gansprieguma izvadi. Modernās pārbaudīto iekārtas ir balstītas uz datortehnoloģijām. Tās ietver datoru un signālu pastiprinātāju, kas saņem no datora izvadiem zema līmeņa strāvas un sprieguma signālus un tos pastiprina. Iekārtai ir maināms fāzu leņķis starp spriegumu un strāvu, kā arī fāzu leņķis starp individuāliem spriegumiem un strāvām, izveidojot iekārtai izvadiem trīsfāzu sistēmu. Ir iespējami iekārtai arī speciāli signāli, lai pārbaudīto releju iekšējās loģikas elementus. Releja signalizācijas un nostrādes izvadi tiek savienoti ar datora ciparu ievadiem. Šādi iespējams pārbaudīt releja pareizu darbību, ieskaitot nostrādes raksturlīknes precizitātes pārbaudi. Ar moderno pārbaudes iekārtu programmatūru ir iespējams pārbaudīt dažādu veidu releju funkcionalitāti un veikt pārbaudes automatiski. Programmatūra piedāvā dažādus pārbaudes veidus, sākot no pārbaudes veikšanas konkrētai vērtībai un beidzot ar raksturlīknes automātisku pārbaudi. Pārbaudes iekārtas tiek lietotas, lai pārbaudīto mēraparatūras mērījumu precizitāti dažādu veidu relejiem. Pārbaudes iekārtu lietošanai ir šādas priekšrocības:

- 1) Relejus var pārbaudīt ar modernu elektrisko sistēmu modelēšanas programmatūru;
- 2) Maiņstrāvas barošanai nav frekvenču svārstību un nevēlamu augstāko harmoniku;
- 3) Pārbaudes var atkārtot (veikt identiskas);
- 4) Iespējams imitēt signālus ar plašu amplitūdu un plašā frekvences diapazonā;
- 5) Izvēlētajai frekvencei var brīvi pievienot augstākās harmonikas;
- 6) Iespējams izvēlēties jebkura ilguma laika ilgumu;
- 7) Var simulēt lēnas izmaiņas sistēmā;

- 8) Var modelēt bojājumus ar mainīgu maksimālās strāvas amplitūdu;
- 9) Automātiskās pārbaudes izslēdz kļūdas mērījumos un iestatījumos.

2.6.1. Firmas „Programma” sekundārā pārbaudes iekārta FREJA 300

FREJA 300 releju pārbaudes iekārta ir datorizētu pārbaudzi iekārta. FREJA 300 ir paredzēta sekundārajām pārbaudēm. Iekārtas FREJA 300 svars ir tikai 15 kilogrami, kas ir neliels, ņemot vērā tās funkcionalitāti un to, ka pirmie FREJA releju pārbaudes iekārtu komplekti svēra vairāk kā 30 kilogramus. Iekārtai ir triecienizturīgs korpuss un to var lietot dažādās vidēs plašā temperatūru diapazonā. Ar iekārtas programmatūru iespējams veikt ātras RA pārbaudes.

Releju pārbaudes ar FREJA 300 pārbaudes iekārtu var veikt kopā ar datoru vai arī bez tā (lokālajā režīmā). Izmantojot lokālo režīmu, tiek veiktas vienkāršas pārbaudes. Katra taustiņa funkcija ir aprakstīta uz displeja, kas parāda arī iestatījumus un izmērīto lielumu vērtības. Precīzie (parasti 0,01%) zemā līmeņa analogie ievadi ir projektēti, lai mērītu mēriekārtu precizitāti. Augstā līmeņa ievadi var tikt izmantoti kā voltmetri un ampēmetri. FREJA 300 var ģenerēt 4x150V (82VA) spriegumus un 3x15A (87VA) vai 1x45A (250VA) strāvas, vai sešas strāvas ar pieejamo ārējo pastiprinātāju CA3. Katra izvada ģenerētie lielumi var tikt mainīti neatkarīgi no citiem. Var tikt veiktas gan statiskās, gan dinamiskās pārbaudes - pirms-bojājuma un bojājuma ģenerēšana, sinhrona vairāku lielumu viļņu formu izveidota rampa. FREJA 300, izmantojot FREJA SIM traucējumu simulācijas programmatūru, var tikt izmantota arī kā traucējumus simulējoša iekārta, kas var ģenerēt traucējumus, vai arī izvadīt reāli ierakstītus traucējumus, piemēram, no COMTRADE failiem (*.cfg) un mainīt šo viļņu formas. Relejus iespējams barot ar iebūvētu līdzstrāvas avotu(14). Ar FREJA 300 var tikt pārbaudīti šādi releju aizsardzības veidi:

- 1) Īsslēguma (virsstrāvas) aizsardzības;
- 2) Maksimālās strāvas aizsardzība;
- 3) Min/maks. sprieguma aizsardzība;
- 4) Virzītā strāvas aizsardzība;
- 5) Negatīvās secības aizsardzība;
- 6) Diferenciālā aizsardzība.
- 7) Distances aizsardzība;
- 8) Sinhronisms vai sinhronismu pārbaudošās aizsardzības.

FREJA 300 pārbaudes komplektā ietilpst pārbaudes iekārta un programmatūra, ko lejupielādē datorā, lai FREJA 300 varētu izmantot kopā ar datoru. FREJA 300 var izmantot arī lokālajā režīmā – bez datora. Lokālajā režīmā iespējams strādāt ar trim instrumentiem:

1) Ar šo iekārtu maina amplitūdas un fāzu leņķus katram sprieguma un strāvas avotam (turpmāk tekstā - ģeneratori), iespējams mainīt arī frekvenci. Iespējams ģenerēt divus stāvokļus - 1. pirms-bojājuma stāvoklis un 2. bojājuma stāvoklis. Displejā ir seši logi (lappuses) - pirmajā iestata pirms-bojājuma vērtības – amplitūdas un fāzu leņķus katram ģeneratoram. Iespējams visiem sprieguma ģeneratoriem iestatīt vienādas amplitūdas, automātiski tās nobīdot par 120 grādiem. Tāpat iespējams katram ģeneratoram vērtības uzdot atsevišķi, visas strāvas ģenerēt ar vienādu leņķi, lai iegūtu lielāku summāro strāvu. Otrajā logā ievada bojājuma vērtības un vajadzīgos bināro kontaktu stāvokļus. Trešajā (stāvokļa logā) tiek ievadīti iestatījumi no pirms-bojājuma un bojājuma stāvokļa, katra stāvokļa atkārtojumu skaitu, kam jābūt lielākam par releja nostrādes laiku. Šajā logā veic arī bināro izvadu iestatīšanu (var iestatīt līdz četrām pārbaudēm). Starp viena bināra izvada diviem signāliem jāpaiet vismaz 15ms. Ceturtajā logā veido rampas. Veido rampu no pirmā un otrā loga iestatījumiem, definējot rampas ātrumu sekundēs tieši šajā logā. Piektajā – režīma logā var redzēt analoģo izvadu mērījumus. Sestajā logā iestata mērierīču ģenerētās vērtības.

2) Distances (strāvas) (RX (I)) instruments ir paredzēts, lai pārbaudītu distances releju pretestību plāknē. Tas izmanto noteiktas strāvas. Iebūvētais dators aprēķina spriegumus un fāzu leņķus katram ģeneratoram. RX(1) instruments tiek lietots, lai pārbaudītu distances relejus ar fiksētu strāvu. Displejā ir trīs logi (lapas), pirmajā iestata pirms-bojājuma vērtības un atkārtojumu ciklu skaitu, otrajā izvēlas bojājuma veidu (vienfāzes, divfāzu, vai trīsfāzu) un strāvu un palaiž pārbaudi. Trešajā logā var redzēt izmērītās vērtības.

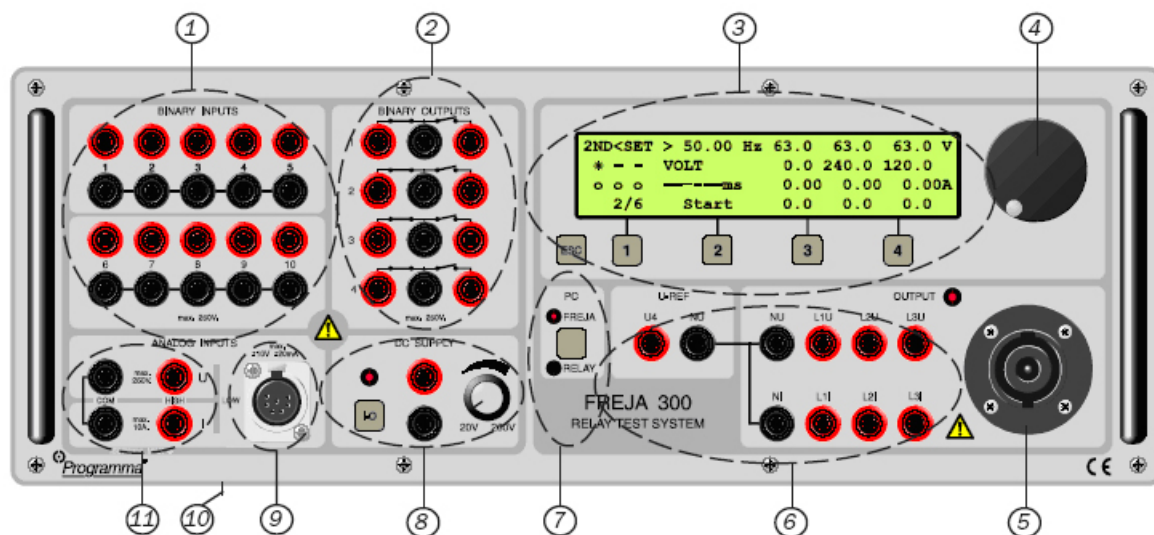
3) Distances (pilnās pretestības) (RX (%Z)) instrumentu izmanto arī distances releju pārbaudēm, bet šajā gadījumā ir iespējams definēt līnijas vērtības un pilnās pretestības avotu. Pretestību iespējams mainīt no 0 - 100%. 100% nozīmē līnijas beigas, bet 0% nozīmē līnijas sākumu. Šādā veidā ir iespējams veikt ātras releja pārbaudes, pārbaudot tikai atsevišķi izvēlētos līnijas punktus. Trīsfāzu sistēma var tikt sadalīta pozitīvā, negatīvā un nullsecībā.

Displejā iespējams redzēt izmērītās ģenerētās vērtības, kas ir ekvivalentas trim ampēmetriem un trim voltmetriem. Navigācija lokālajā režīmā notiek, izmantojot piecus taustiņus zem displeja: ESC, 1, 2, 3, 4. Taustiņu funkcijas var mainīties, bet vispārīgā gadījumā ar ESC iespējams mainīt izvēlnes logus, ar 1 pāršķirt lapas uz priekšu, 2 ir pārbaudes palaišanas poga, 3- vērtību iestatīšanas un izmērīto vērtību attēlojumu maiņa, bet ar 4 iespējams atgriezties iepriekšējā lapā. FREJA 300 automātiski atmiņā saglabā pēdējos iestatījumus. Atmiņā iespējams saglabāt arī noteiktus iestatījumus, ko izmanto atkārtotās pārbaudēs. Ja nepieciešams ģenerēt lielākas strāvas, FREJA 300 iekārtai var pievienot strāvas pastiprinātāju.

2.6.1.1. FREJA 300 tehniskie dati

FREJA 300 ir paredzēta lietošanai apakšstacijās un citās industriālās vidēs. FREJA 300 darba vides temperatūra ir no 0 līdz +50°C, bet transportēšanas un uzglabāšanas temperatūra ir robežās no -40°C līdz +70°C. Iekārtas barošanas spriegums ir no 90 – 264V (AC) un frekvence no 47 - 63Hz. Mērījumu sekcija: desmit binārie ievadi, iekšējās apstrādes laiks - 50μs, maksimālais mērījuma laiks - 636 dienas, līdzstrāvas ievadu amplitūda - ±20mA un ±10V, maiņstrāvas/līdzstrāvas ievadu amplitūda - ±14A DC, 10A AC un ±220V DC, 150V AC; binārie izvadi - 2x4, iespējams izvadīt 240V AC (max strāva 8A, max slodze 2000VA), 275V DC (max strāva 8A, max slodze 240W). Ģeneratoru sekcija: 4x150V un 3x15A (14).

2.6.1.2. FREJA 300 pievienojumi

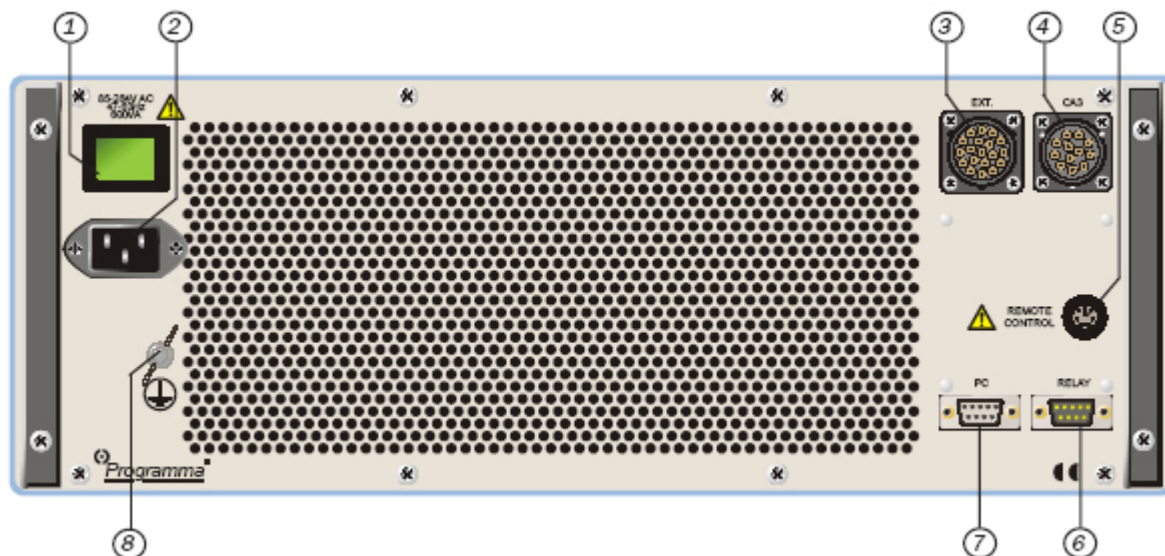


2.23.attēls. FREJA 300 priekšējā paneļa pievienojumi

Attēlā 2.23. redzamas FREJA 300 pārbaudes iekārtas priekšējā paneļa eksplikācija:

- 1) Binārie ievadi
- 2) Binārie izvadi
- 3) Displejs un taustiņi, ko izmanto lokālajā režīmā
- 4) Poga, ar ko ieregulē vērtības
- 5) Spriegumu un strāvu savienojums
- 6) Spriegumu un strāvu izvadi
- 7) Slēdzis, ar ko FREJA 300 slēdz releju vai datoru

- 8) Līdzstrāvas barošana
- 9) Analogie ievadi, mērījumu iekārtu pārbaudēm
- 10) Analogo ievadu drošinātājs (50mA)
- 11) Analogie ievadi, voltmetri un ampērmetri



2.24.attēls. FREJA 300 aizmugurējā paneļa pievienojumi

Attēlā 2.24. redzamas FREJA 300 aizmugures eksplikācija:

- 1) Barošanas slēdzis
- 2) Iekārtas barošanas vada ligzda
- 3) Kalibrācijas iekārtas ligzda
- 4) Strāvas un sprieguma sensoru ligzda
- 5) Tālvadības pults ligzda
- 6) Releja savienojuma ligzda
- 7) Datora interfeiss
- 8) Zemējuma termināls

2.6.2. OMICRON TEST UNIVERSE sekundārā pārbaudes iekārta

OMICRON TEST UNIVERSE releju aizsardzības pārbaudes iekārtas komplekts sastāv no pārbaudes iekārtas CMC 256 un programmatūras, ko instalē datorā. Pārbaudes var veikt **tikai kopā ar datoru**, kurā instalēta atbilstošā programmatūra. CMC 256 ir daļa no OMICRON TEST UNIVERSE, kas sastāv no pārbaudes iekārtas, datora, kurā instalēta pārbaudes programmatūra un, ja nepieciešams, papildus pievienojamiem pastiprinātājiem. Pārbaudes ierīcei ir sekojoši uzdevumi:

- a) pārbaudīt aizsardzības relejus;
- b) pārbaudīt dažādu veidu mēraparāturu.

CMC 256 tehniskās iespējas:

- 1) 4x spriegumu izvadi un 6x (CMC 256-6) vai 3x (CMC 256-3) strāvas izvadi;
- 2) Līdzstrāvas barošana pārbaudes objektam;
- 3) Bināro signālu izvadi;
- 4) „Enerlyzer” iespēja - līdzstrāvas un maiņstrāvas spriegumu un strāvu mērījumi un analīze.

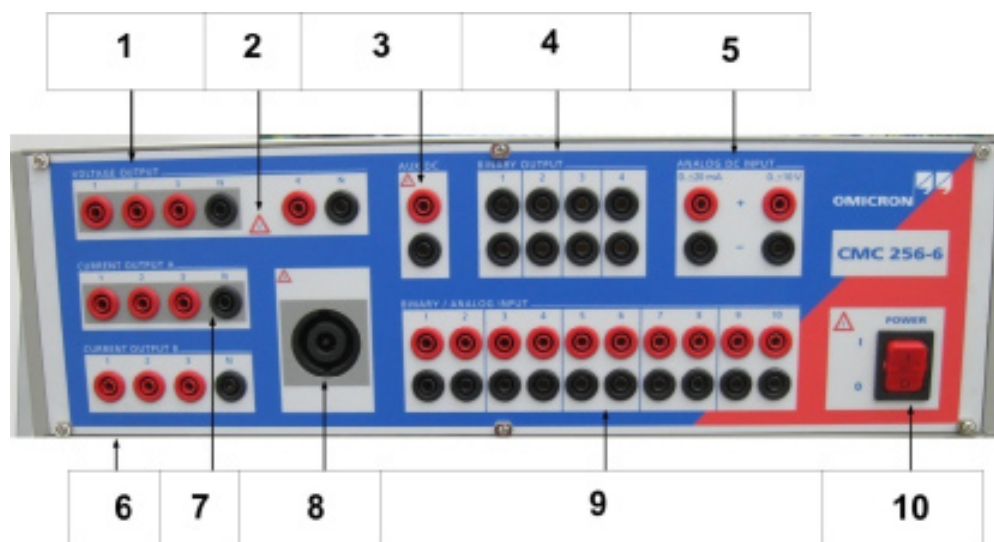
CMC 256 iekārtas funkcijas:

- 1) Rada pārbaudes signālus (strāvas, spriegumus, bināros signālus);
- 2) Mēra pārbaudāmā objekta reakciju (analogi un bināri);
- 3) Nodrošina pārbaudāmo objektu ar līdzstrāvu.

CMC 256 konfigurēšana un kontrole tiek veikta, izmantojot OMICRON TEST UNIVERSE pārbaudes programmatūru. Datorā instalētā pārbaudes programmatūra:

- 1) Kontrolē pārbaudes signālus;
- 2) Apstrādā mērījumu informāciju;
- 3) Sastāda atskaides;
- 4) Ģenerē ievadāmo informāciju.

2.6.2.1. CMC 256 komutācijas un to specifikācijas



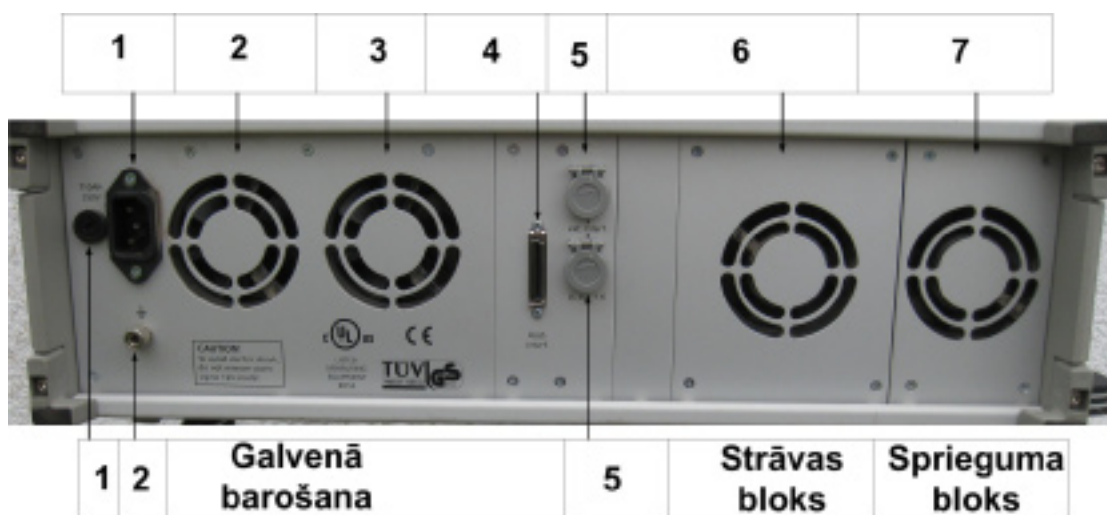
2.25.attēls. CMC 256 priekšējā paneļa komutācijas

Priekšējā paneļa komutācijas (attēls 2.25.):

- 1) Sprieguma izvadi

- 2) Brīdinājuma signāls – brīdina, ka vismaz viena izvada spriegums $>42\text{V}$
- 3) Papildus sprieguma izvadi, ar kuriem var barot pārbaudāmo releju ar operatīvo spriegumu (0 – 264V)
- 4) Binārie izvadi
- 5) Analogie līdzstrāvas ievadi (mērījumi no ārējā avota)
- 6) Strāvas izvadi A: 3x12.5A
- 7) Strāvas izvadi B: 3x12.5A
- 8) 8 polu kombinētā ligzda, sprieguma (1-3) un strāvas A izvadiem
- 9) Binārie /analogie ievadi

Piezīme: CMC 256 – 3 iekārtai nav strāvas izvadus B, bet A izvadi ir 3x25A, viss pārējais līdzīgs kā CMC 256 - 6.



2.26.attēls. Izvietojums uz CMC256 aizmugurējā paneļa

Izvietojums uz aizmugurējā paneļa (attēls 2.26.):

- 1) Barošanas ligzda
- 2) Ventilatori (2, 3, 6, 7)
- 3) Datora pievienošanas ports (interfeiss)
- 4) Papildus ports (interfeiss) mērījumiem
- 5) Drošinātājs
- 6) 4mm ligzdas zemējuma pievienošanai
- 7) Ārējā pastiprinātāja pievienošanas ligzdas

Četri sprieguma izvadi raksturo trīs fāzes spriegumus, kas ir galvaniski izolēti no pārējiem CMC 256 izvadiem un atsevišķi neitrāli N. Divas ligzdas, apzīmētas ar N, ir galvaniski savienotas viena ar otru.

Sprieguma izvadi ir iespējami ar divām amplitūdām:

- a) 4 x 0 - 150V;
- b) 4 x 0 - 300V.

Sprieguma izvadi ir aizsargāti pret ķēdes pārtraukumiem, īsslēgumiem un pārslodzēm. Ja sākusies nevēlama to silšana, tad termiskais slēdzis automātiski atslēdz visus izvadus. Kad sprieguma izvadi tiek pārslogoti, programmatūras interfeiss dod brīdinājuma signālus.

Ir iespējami divi CMC 256 iekārtas varianti - CMC 256-3: trīs strāvas izvadi ar kopēju neitrāli (N) un CMC 256-6: galvaniski izolēti izvadi A un B, katrā trīs izvadi ar nulvadi (N). Strāvas pastiprinātājos ir iebūvēts līdzstrāvas barošanas avots releja barošanai. Ar šo tehnoloģiju var viegli simulēt augstākās harmonikas un to izsaukto frekvenču kropļojumus.

Strāvas izvadiem ir iespējamās divas strāvas amplitūdas:

- a) CMC 256-3: 3 x 2.5A un 3 x 25A;
- b) CMC 256-6: 6 x 1.25A un 6 x 12.5A.

Strāvas izvadi ir aizsargāti pret ķēdes pārrāvumiem, īsslēgumiem un pārslodzēm. Ja silšanas indikators sakarst, termiskais slēdzis atslēdz visus izvadus.

Desmit binārie ievadi ir sadalīti piecās grupās pa divi, katra grupa galvaniski izolēta no pārējām. Ievades signāli tiek kontrolēti, izmantojot izolācijas pastiprinātāju un novērtēti, izmantojot mērījumu elementus. Binārie ievadi var tikt izmantoti kā mērījumu ievadi frekvencēm līdz 3kHz (15).

Izmantojot programmatūru, visi desmit CMC 256 binārie ievadi var tikt individuāli pārkonfigurēti par binārajiem vai analogajiem mērījumu ievadiem. Izmantojot „Enerlyzer” mērījumu opciju, ievadus var iestatīt kā analogo mērījumu ievadus.

Ievades signāli var tikt uztverti frekvenču amplitūdā no 0Hz līdz 10kHz. Izmērītās vērtības caur izolācijas pastiprinātāju nonāk līdz mērījumu elementam un tiek pārveidotas par ciparu vērtībām ar A/D pārveidotāju. Tālākā apstrāde notiek ciparu signālu apstrādes procesorā. Visas jaudas var tikt nosūtītas uz datoru reālā laikā (15).

Ievadi tiek lietoti kā sprieguma ievadi un ir ar mērījumu amplitūdu 100mV, 1V, 10V, 100V un 600V.

Strāvas mērījumus var veikt strāvai līdz 80A, izmantojot strāvas skavu. Mērījumu precizitāte ir atkarīga no strāvas skavas precizitātes.

2.6.2.2. OMICRON TEST UNIVERSE programmatūra

OMICRON TEST UNIVERSE komplektam ir pieejami dažādi programmatūras veidi:

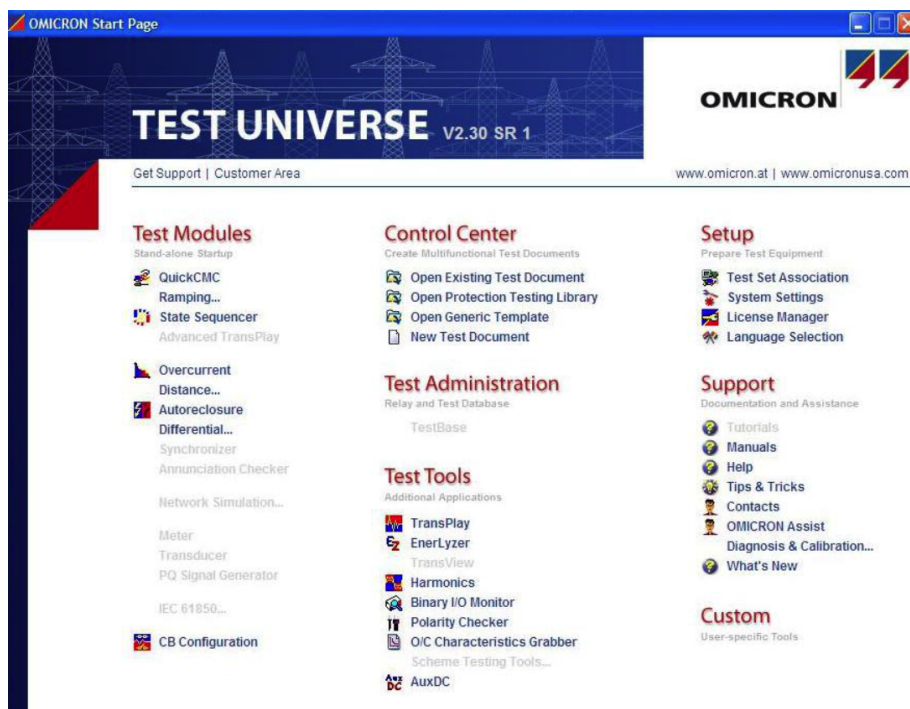
- a) orientēti uz aizsardzības releju pārbaudēm – Basic, Protection, AdvancedProtection;
- b) orientēti uz mēriekārtu pārbaudēm – Meter, Measurment;
- c) apvienotās pārbaudes programmatūra – Universal.

Turpmāk tiks aplūkotas tikai releju aizsardzības pārbaudēm paredzētās programmatūras iespējas. Aizsardzības komplekta programmatūra piedāvā pilnu funkcionalitāti, lai kontrolētu un veiktu vispusīgas pārbaudes jebkuram aizsardzības relejam saskaņā ar releja ražotāja instrukcijām vai releja faktisko uzstādījumu un pielietojumu. Programmatūra satur pārbaužu apakšprogrammas, kas var neatkarīgi darboties vienkāršās pārbaudēs. Pārbaužu apakšprogrammas ir radītas, lai automatizētu pārbaudes un nodrošinātu automātiskus novērtējumus.

Kad OMICRON TEST UNIVERSE programmatūra ir ieinstalēta datorā, to atverot, parādās sākuma lapa, no kuras var tikt visas pārbaužu apakšprogrammās. Sākuma lapas izkārtojums ir līdzīgs interneta lappušu izkārtojumam.

No sākumlapas var atvērt visas apakšprogrammas, kā arī atrast to paskaidrojumus. Kreisajā pusē ir visas individuāli palaižamo apakšprogrammu ikonas, bet labajā pusē atrodas OMICRON vadības centra (OCC) ikonas un papildus ikonas.

Visām OMICRON pārbaudes apakšprogrammām ir kopējs atskaites dokuments - pilnīgi noformēta atskaite. Kad pārbaudes ir pabeigtas, rezultāti tiek iekļauti atskaites dokumentā. Atsevišķas pārbaudes var ielikt vienotā atskaites dokumentā. Atskaites saturu ir iespējams mainīt, izmantojot konfigurācijas funkciju. Tajā var izvēlēties, kurus dokumentus iekļaut un kurus neiekļaut pārbaudes atskaites dokumentā.



2.27.attēls. OMICRON TEST UNIVERSE programmatūras sākumlapa

2.6.2.3. OMICRON TEST UNIVERSE pārbaudes apakšprogrammas

OMICRON TEST UNIVERSE programmatūra piedāvā speciālas apakšprogrammas dažādu veidu pārbaūžu veikšanai.

Ātrās pārbaudes („QuickCMC”)

Apakšprogramma piedāvā veikt ātras un vienkāršas manuālās pārbaudes, kurās vienlaicīgi var kontrolēt līdz 12 strāvas un sprieguma ģeneratorus. Interfeiss atļauj veikt manuālu kontroli visu spriegumu un strāvu ģeneratoriem. Iespējama soļu veida manuāla vai automātiska strāvas un sprieguma amplitūdu, frekvenču vai fāzu parametru regulēšana. Vienkārši iestatāmi nostrādes laiki un impulsu vērtības. Iespējams kontrolēt binārās izejas un mērījumus mazo analogo signālu ieejās. Strāvu un spriegumu vērtības iespējams apskatīt attēlotajā vektoru diagrammā.

Parametru izmaiņas pārbaudes („Ramping”)

Apakšprogramma nodrošina iespēju mainīt sprieguma un strāvas amplitūdas, frekvences un fāzes izmaiņu. Iespējamās sinhronas izmaiņas diviem signāla parametriem (piemēram, vienlaicīgi sprieguma un strāvas amplitūdai un frekvencei). Ir iespējama amplitūdas un frekvences variēšana, fāzes pakāpienveida izmaiņas, kā arī citas funkcijas:

- 1) Vienlaicīga lielumu izmaiņa fāzes leņķim vai frekvencei, vai jebkurai divu izejošo signālu kombinācijai;

- 2) Var tikt neatkarīgi kontrolēti deviņi līdzstrāvas un deviņi līdzsprieguma ģeneratori;
- 3) Katrs maināmā parametra stāvoklis var tikt definēts atsevišķi. Lietotājam ir iespējams izveidot dažādas pārbaudes secības;
- 4) grafiski attēlot definēto parametru izmaiņas.

Stāvokļu maiņas pārbaudes („StateSequencer”)

Apakšprogramma var tikt izmantota, lai automātiski noteiktu nostrādes laikus vai citus laika mērījumus. Atļauj iestatīt amplitūdu, frekvenci un fāzi katrā ģeneratorā katram pārbaudāmajam stāvoklim.

Maksimālās strāvas aizsardzības pārbaudes („Overcurrent”)

Apakšprogramma tiek izmantota relejiem ar maksimālo strāvas aizsardzību. Automātiski pārbauda maksimālās strāvas aizsardzības darbību. Ietver automātisku strāvas paaugstināšanu un pazemināšanu un atskaites veidošanu. Simulē zemesslēgumu, īsslēgumu, pretējās secības strāvu un nullsecības strāvu.

Maksimālās strāvas aizsardzības apakšprogramma atļauj manuālu vai automātisku pārbaudi virzītiem vai nevirzītiem maksimālās strāvas aizsardzības relejiem ar noteiktu vai inversu laika raksturlīkni, kā arī relejiem ar specializētām raksturlīknēm. Turklāt divu un trīs fāzu relejiem var pārbaudīt zemesslēguma aizsardzības funkcijas bloku.

Izmantojot tiešās secības bojājuma modelēšanas iespēju, pārbaudes apakšprogramma atļauj imitēt zemesslēgumus, divfāzu un trīsfāzu bojājumus. Izmantojot nullsecības un pretējās secības modelēšanu, tā atļauj veikt ģeneratoru un dzinēju aizsardzības releju pārbaudi.

Veicamās pārbaudes punktus un secību ir iespējams uzdot, uzklikšķinot grafikam. Apakšprogramma automātiski pārbauda, vai izmērītie atslēgumu laiki iekļaujas iestatījumos, un veic automātisku novērtējumu dotajiem rezultātiem.

Distances aizsardzības pārbaudes („Distance”)

Apakšprogramma nodrošina funkcionalitāti, lai kontrolētu un veiktu pārbaudes distances relejiem ar pilnās pretestības funkcionālo bloku. Pārbaudes rezultāti tiek atspoguļoti grafiski. Grafiskais redaktors nodrošina nominālo releja parametru definēšanu un vienkāršus tā iestatījumus. Standarta interfeiss, ko atbalsta dažādi releju ražotāji, rada iespējamu tūlītēju releja informācijas importēšanu (pārsūtīšanu) no releja parametru iestatīšanas programmas uz apakšprogrammu. Pārbaudes tiek definētas pilnās pretestības plaknē.

Diferenciālās aizsardzības pārbaudes („Differential”)

Apakšprogramma nodrošina pārbaudi veikšanu diferenciālās aizsardzības relejiem ģeneratoriem, kopnēm un transformatoriem.

2.7. Sadales tīklā lietotās releju aizsardzības un automātikas veidi.

2.7.1. Transformatoru aizsardzība

Rūpniecības un lauksaimniecības elektroapgādes sistēmā transformatori ir vieni no svarīgākām elektroietaisēm. No to darbības drošuma atkarīga lietotāju nepārtraukta apgāde ar elektroenerģiju. Lai arī transformatoru konstrukcija ir samērā vienkārša un droša, tajos var rasties bīstami bojājumi.

Transformatoru bojājumi var būt iekšējie un ārējie. Iekšējie bojājumi notiek transformatoru apvalka iekšienē. Pie tiem pieder vienfāzes, divfāzu īsslēgumi, kā arī vienas fāzes vijumu savstarpējie īsslēgumi. Iekšējie bojājumi uzskatāmi par ļoti bīstamiem bojājumiem. Tie rada elektrisko loku, kas bojā tinumus un to izolācijas materiālus, tērauda serdi, pārkarsē eļļu. Transformatora tinumu izolācijas materiālu iekšējo bojājumu rezultātā no eļļas strauji izdalās gāzes. Sekas tam var būt transformatora apvalka eksplodēšana un ugunsgrēka izcelšanās.

Par transformatoru ārējiem bojājumiem uzskata tos bojājumus, kuri rodas apvalka ārpusē, piemēram, transformatora caurvadū izolatoru mehāniskie vai elektriskie bojājumi, starpfāžu elektriskais loka izsauktie, mehāniskie bojājumi apvalkā u.c. Pie nenormālajiem transformatora darba režīmiem pieskaitāmi ārējo īsslēgumu un transformatoru pārslodzes izraisītās palielinātās strāvas un ar tām saistītā transformatora tinumu nepieļaujama silšana, kā arī nepieļaujama eļļas līmeņa pazemināšanās transformatora apvalkā.

Elektroietaišu ierīkošanas noteikumi (EIN) nosaka, ka transformatori ir jāizsargā. Bīstamu bojājumu gadījumā aizsardzībai jānostrādā bez laika kavējuma un jāatslēdz visi jaudas slēdži, caur kuriem transformators var saņemt barošanas spriegumu. Nenormālajā darba režīmā, atkarībā no pārslodzes pakāpes, aizsardzība atslēdz transformatoru vai ieslēdz skaņas vai gaismas signalizāciju.

Atkarībā no transformatora jaudas, sprieguma un tinumu skaita (divtinumu vai trīstinumu), saskaņā ar elektroietaišu ierīkošanas noteikumiem, jāuzstāda šādas aizsardzības:

- 1) gāzes aizsardzība transformatora iekšējiem bojājumiem, kas saistīti ar gāzes izdalīšanos, kā arī eļļas līmeņa pazemināšos un gaisa iekļūšanu eļļā;
- 2) diferenciālā strāvas aizsardzība pret ārējiem un iekšējiem daudzfāžu (divfāžu,

trīsfāzu) īsslēgumiem;

3) momentānā strāvas aizsardzība pret daudzfāzu īsslēgumiem (ārējiem un daļēji arī iekšējiem);

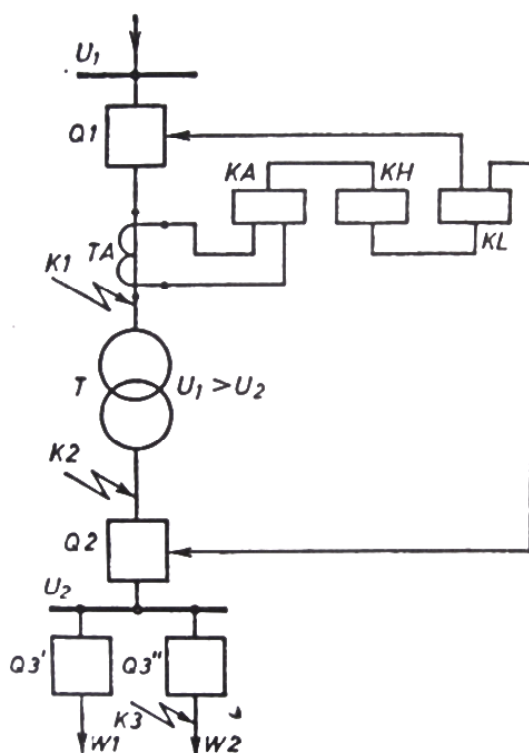
4) maksimālās strāvas aizsardzība ar sprieguma palaišanu vai bez tās aizsardzībai pret ārējiem īsslēgumiem, kā arī pret transformatora bojājumu izraisītajām palielinātajām slodzes strāvām ($I > I_{T,nom}$);

5) maksimālās strāvas aizsardzība pret transformatora pārslodzi. Šī aizsardzība iedarbojas uz signālu;

6) aizsardzība pret zemesslēgumiem.

2.7.1.1. Momentānā strāvas aizsardzība

Momentānā strāvas aizsardzība ir ātrdarbīga maksimālās strāvas aizsardzība ar ierobežotu aizsardzības darbības zonu un to galvenokārt izmanto spriegumu pazeminošo transformatoru ar jaudu līdz $6,3 \text{ MV} \times \text{A}$ aizsardzībai pret starpfāžu ārējiem īsslēgumiem, kā arī daļējai transformatoru tinumu aizsardzībai pret starpfāžu īsslēgumiem augstākajā sprieguma pusē. Momentāno strāvas aizsardzību (attēls 2.28.) uzstāda no transformatora barošanas puses un tā darbojas uz visu transformatora jaudas slēdžu atslēgšanas ķēdēm. Tā nereaģē uz īsslēgumiem aiz transformatora (K2 un K3).



2.28.attēls. Transformatora momentānās strāvas aizsardzības vienkāršota shēma.

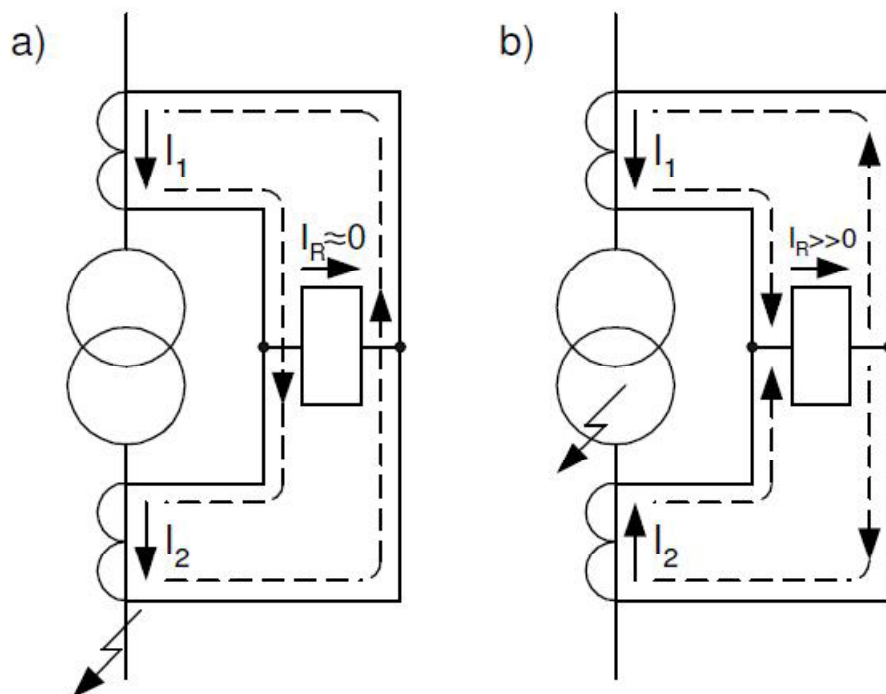
Momentāno strāvas aizsardzības priekšrocības ir vienkārša un lēta aizsardzības shēma, ātrdarbīga un vienkārša ekspluatācija. Kā vienu no momentāno strāvas aizsardzības

trūkumiem var minēt aizsardzības zemo jutību.

Saskaņā ar elektroietaišu izbūves noteikumiem momentāno strāvas aizsardzību uzstāda nelielas un vidējas jaudas transformatoriem ar jaudu S_{nom} līdz $6,3 \text{ MV} \times \text{A}$, ja var nodrošināt $k_j \geq 2$ (momentānas strāvas aizsardzības jutības koeficients). Ja jutība ir nepietiekama, momentānās strāvas aizsardzības vietā jāuzstāda diferenciālā strāvas aizsardzība.

2.7.1.2. Diferenciālā strāvas aizsardzība

Diferenciālā strāvas aizsardzība tiek uzstādīta transformatoriem ar jaudu $6,3 \text{ MVA}$ un lielāku, kā arī mazākas jaudas transformatoriem, ja nav iespējams izveidot pietiekami jutīgu momentāno strāvas aizsardzību. Šī aizsardzība reaģē uz starpfāžu īsslēgumiem, zemesslēgumiem un vienas fāzes tinuma vijumu īsslēgumiem. Diferenciālās aizsardzības darbības pamatā ir no barošanas avota uz transformatoru plūstošo strāvu summas mērīšana (primārajā tinumā plūstošā strāva ir pozitīva, sekundārajā tinumā – negatīva), tādēļ diferenciālai aizsardzībai nepieciešams kontrolēt visas transformatora pusēs uzstādīto strāvmaiņu sekundārās strāvas. Vienkāršākajā gadījumā divtinumu transformatoram šie abi strāvmaiņi ir saslēgti virknē, un starp to savienojošiem vadiem ir ieslēgts strāvas relejs. Diferenciālās aizsardzības darbības princips ir attēlots attēlā 2.29., (a – ārējs īsslēgums, b – iekšējs īsslēgums).



2.29.attēls. Diferenciālās strāvas aizsardzības princips.

Strāvmaiņu sekundārie tinumi ir savienoti tā, lai pie slodzes un ārējiem īsslēgumiem caur releju plūstu sekundāro strāvu starpība.

$$I_R = I_{Isek} - I_{IIsek} \quad (2.7.1.)$$

Tad pie īsslēguma diferenciālās aizsardzības zonā strāva relejā ir vienāda ar summu:

$$I_R = I_{Isek} + I_{IIsek} \quad (2.7.2.)$$

Ja $I_R > I_{nistr}$, tad relejs nostrādā un atslēdz transformatoru.

Lai diferenciālā aizsardzība nenostādātu pie slodzes un ārējiem īsslēgumiem, nepieciešams izlīdzināt strāvas abos plecos tā, lai šajā gadījumā strāva relejā būtu:

$$I_R = I_{Isek} - I_{IIsek} = 0 \quad (2.7.3.)$$

Lai to nodrošinātu:

$$I_{Isek} = I_{IIsek} \quad (2.7.4.)$$

Transformatoru diferenciālo aizsardzību darbību ietekmē vairāki faktori:

- magnetizēšanas strāvas svārstības,
- pakāpju pārslēgšana zem slodzes,
- strāvmaiņu kļūdu izraisītas nebalansa strāvas,
- transformatoru tinumu slēgumu grupas izraisītā nobīde starp primārās un sekundārās strāvas vektoriem,
- transformācijas koeficienta izraisīta primārās un sekundārās strāvas lieluma atšķirība.

Šo faktoru dēļ transformatoru diferenciālajai strāvas aizsardzībai nevar izmantot vienkāršu strāvas releju. Lai novērstu pirmo trīs faktoru negatīvo ietekmi, elektromehāniskajos relejos izmanto bremzēšanas tinumu, ciparu aizsardzībā izmanto nostrādes raksturlīkni, kas attēlo strāvu vektoru summas (IDIF) un vektoru moduļu summas (IBR) attiecību. Aizsardzība nostrādā, ja šī attiecība ir vienāda vai pārsniedz nostrādes lielumu.

Transformatora primārā un sekundārā pusē pilnīgi vienādas strāvas praktiski nav iespējams iegūt, jo strāvmaiņu standarta nominālās strāvas būtiski atšķiras un tās nav iespējams precīzi piemeklēt. Tādēļ diferenciālās aizsardzības elektromehāniskos relejus izveido ar pārslēdzamiem tinumiem.

2.7.2. Vidējā sprieguma tīkla aizsardzības un automātika

Vidējā sprieguma sadales tīkli ir izveidoti ar gaisvadu līnijām un kabeļu līnijām. Pamatā

20 kV gaisvadu līnijas izmanto klientu elektroapgādei Latvijas lauku apvidos. Pilsētās galvenokārt izmanto 10, 20 kV kabeļu līnijas. Agrāk ierīkotos 6 kV sprieguma kabeļu līnijas pakāpeniski Latvenergo pārbūvē par 10 vai 20 kV kabeļu līnijām.

Saskaņā ar elektroietaišu izbūves noteikumiem, 6-20 kV sprieguma tīkli jāaizsargā pret daudzfāžu īsslēgumiem un zemesslēgumiem. Atsevišķas 6-20 kV radiālas līnijas pret daudzfāžu īsslēgumiem ir jāaizsargā ar divpakāpju strāvas aizsardzību. Pirmo pakāpi izveido kā momentāno strāvas aizsardzību, bet otro pakāpi – ar neatkarīgu vai ierobežoti atkarīgu laika raksturlīkni. Aizsardzībai pret zemesslēgumiem tīklos ar izolētu vai kompensētu neitrāli uzstāda tikai izolācijas kontroles iekārtu. Zemesslēguma aizsardzība bojāto līniju neatslēdz, bet iedarbina signālu. Modernizētajās 110 kV transformatoru apakšstacijās izmanto digitālos relejus ar zemesslēguma aizsardzības funkciju katram pieslēgumam.

Jānorāda, ka 6, 10 un 20 kV sprieguma radiālos sadales tīklos strāvas aizsardzības ir uzstādītas tikai barošanas avotam tuvākajā līnijas galā. Atbilstoši elektroietaišu izbūves noteikumiem šajos tīklos ir jāuzstāda:

- a) maksimālās strāvas aizsardzība ar laika kavējumu,
- b) momentānās strāvas aizsardzība,
- c) aizsardzība pret zemesslēgumiem,
- d) frekvences aizsardzība.

2.7.2.1. Maksimālās strāvas aizsardzība un tās laika kavējuma izvēle

Aizsardzības ar neatkarīgu laika kavējumu raksturlīkni izvēlas ar nosacījumu, ka laika iestatījums objektam aizsardzībai būtu

$$t = t_{n-1} + \Delta t, \quad (2.7.5)$$

kur t_{n-1} ir neatkarīga laika iestatījums objektam $n-1$ (nākamais tālākais no barošanas avota), bet Δt ir selektivitātes laika pakāpe.

Aizsardzības ar ierobežoti atkarīgu laika kavējuma raksturlīkni (inversa laika raksturlīkni) izvēlas, pamatojoties uz diviem darba punktiem uz releja ierobežoti atkarīgās laika raksturlīknes:

- 1) ja īsslēguma strāva ir liela, tas ir, kad releju aizsardzība darbojas laika raksturlīknes neatkarīgajā daļā, laika iestatījumus izvēlas atbilstoši formulai (2.7.5.);
- 2) ja īsslēguma strāva ir maza, kas atbilst releja nostrādes strāvai, tas ir, kad

releju aizsardzība darbojas laika raksturlīknes ierobežoti atkarīgajā daļā, laika iestatījumi jāsaskaņo.

Piemēram, lai divu blakus esošu apakšstaciju A un B (attēls 2.30.) releju aizsardzības darbotos selektīvi, jāsaskaņo to laika raksturlīknes. Ievērojot selektivitātes prasību, apakšstacijas A releju aizsardzības komplektam KA_A laika iestatījumu izvēlas šādu: $t_A = t_B + t$. Jāpiebilst, ka šim noteikumam jābūt izpildītam visu īsslēguma strāvas I_k vērtību gadījumos.

Selektivitātes laika pakāpi jāizvēlas tādu, lai maksimālās strāvas aizsardzības ar laika kavējumu darbotos selektīvi. Aizsardzībai ar neatkarīgu laika kavējuma raksturlīkni selektivitātes laika pakāpe t tiek veidota kā summa no atsevišķiem laikiem:

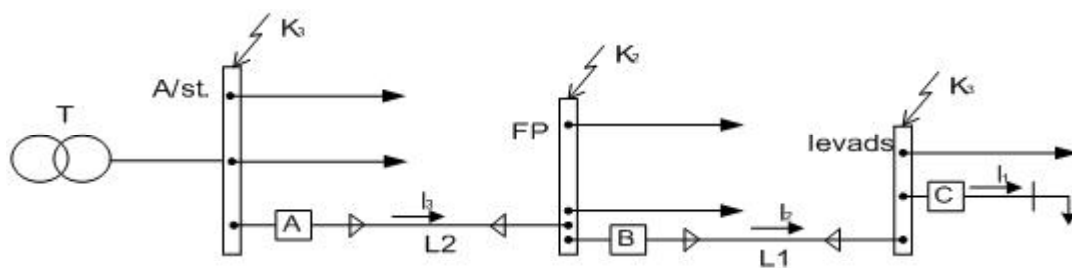
$$\Delta t = \Delta t_{Q,n-1} + \Delta t_{KT,n} + \Delta t_{KT,n-1} + \Delta t_{rez}. \quad (2.7.6.)$$

$\Delta t_{Q,n-1} = 0,05 \dots 0,25$ s ir $n-1$ jaudas slēdža atslēgšanas laiks, kuru skaita no atslēgšanas impulsa došanas momenta līdz elektriskā loka nodzēšanas brīdim jaudas slēdža dzēškamerā (eļļas slēdžiem - $\Delta t_{Q,n-1} = 0,08 \dots 0,025$ s);

$\Delta t_{KT,n} = 0,06 \dots 0,12$ s ir n -tās aizsardzības laika releja nostrādes laika negatīvā kļūda, tas ir laiks, kurā relejam iespējams nostrādāt ātrāk;

$\Delta t_{KT,n-1} = 0,06 \dots 0,12$ s ir $n-1$ aizsardzības releja nostrādes pozitīva kļūda, tas ir, laiks, kurā relejam iespējams nostrādāt vēlāk;

$\Delta t_{rez} = 0,1 \dots 0,15$ s ir rezerves laiks. Ar to ievēro iestatījumu kļūdas, apkārtējās vides temperatūras maiņas ietekmi uz releja darbību u.c.



2.30.attēls. Aizsargājamā tīkla shēma

Maksimālas strāvas aizsardzības iestatījumu izvēle. Izvēloties releju aizsardzības nostrādes strāvu $I_{a.no.}$, jāievēro, ka aizsardzība nedrīkst nostrādāt no aizsargājamā objekta (līnija, transformators) maksimālās darba strāvas $I_{d.max.}$. $I_{d.max.}$, ko var definēt kā tīkla maksimālo aplēses slodzes strāvu, kas ir atkarīga no strāvas vadītāja (vada

vai kabeļa) šķērsgriezuma. Īsslēguma gadījumā, ja strāva aizsargājamā objekta ķēdē samazinās līdz aizsardzības nostrādes strāvai, tad aizsardzībai ir jāatgriežas izejas stāvoklī, tas ir, jābūt $I_{at} > I_{d.max.}$, kur I_{at} ir releju aizsardzības atgriešanās strāva.

Pieņemot drošības koeficientu $K_{dr} > 1$ (aprēķinos izmanto $K_{dr} = 1,1 \dots 1,5$), iepriekšējo nevienādību var pārrakstīt šādi:

$$I_{at} = K_{dr} I_{d.max} \quad (2.7.7.)$$

Ieslēdzot līniju darbā notiek dzinēju pašpalaišanās un aizsargājamās līnijas slodzes strāva kļūst lielāka par $I_{d.max.}$. Aprēķinos šis īslaicīgais strāvas pieaugums tiek ņemts vērā ar pašpalaišanās koeficientu $K_p > 1$ (aprēķiniem $K_p = 1,0 \dots 4,5$). Tā kā releju aizsardzība nedrīkst nostrādāt no dzinēju pašpalaišanās tad formulu 1.7.7. var pārrakstīt šādi:

$$I_{at} = K_{dr} K_p I_{d.max} \quad (2.7.8.)$$

Ievērojot to, ka strāvas relejam $K_{at} = I_{at} / I_{no}$, shēmas koeficientu K_{sh} un strāvmaiņu transformācijas koeficientu K_I , iegūst maksimālās strāvas aizsardzības strāvas releja nostrādes strāvu jeb strāvas releja iestatījumu:

$$I_{no} = K_{dr} K_p K_{sh} / K_{at} * I_{d.max} / K_I \quad (2.7.9.)$$

Atgriešanās koeficients K_{at} digitālajiem aizsardzības relejiem ir vienāds ar 0,96 un elektromehāniskajiem strāvas relejiem vienāds ar 0,85.

Shēmas koeficients K_{sh} atkarīgs no strāvmaiņu un strāvas releju slēgumu shēmas (pilnas vai nepilnās zvaigznes slēguma $K_{sh} = 1$, bet, ja strāvas relejs ieslēgts strāvu starpības slēgumā, $K_{sh} = \sqrt{3}$).

Aptuvenai strāvas releja iestatījuma noteikšanai var lietot vienkāršotu formulu (ja K_p nav zināms):

$$I_{no} = 4 K_{sh} I_{d.max} / K_I \quad (2.7.10.)$$

Aizsardzības jūtības pārbaude. Lai paaugstinātu maksimālās strāvas aizsardzības darbības jūtību, jācenšas pēc iespējas samazināt aizsardzības nostrādes strāvu $I_{a.no}$, tas ir, releja nostrādes strāvu I_{no} . Aizsardzības jūtību pārbauda pie minimālajām īsslēguma strāvu vērtībām, aprēķinot jūtības koeficientu:

$$K_j = I_r / I_{no} \text{ vai } K_j = I_{k.min} / (I_{no} K_I) = I_{k.min} / I_{a.no} 1,5 \quad (2.7.11)$$

kur $I_{k.min}$ – minimālā īsslēguma strāva, kas plūst strāvmaiņa primārajā tinumā aizsardzības uzstādīšanas vietā notiekot īsslēgumam aizsargājamās līnijas galā, I_r – faktiskā sekundārā strāva, kas plūst caur strāvas releju;

I_{no} – strāvas releja nostrādes (iestatītā) strāva;

$I_{a.no}$ – strāvas aizsardzības nostrādes (iestatītā) strāva.

Aprēķins jāveic tam īsslēguma veidam (divfāzu, trīsfāzu), kura gadījumā K_j vērtība ir vismazākā, ievērojot strāvmaiņu un releju slēguma shēmu.

Aizsardzībai darbojoties kā pamata aizsardzībai, 1,5 ir minimālā pieļaujamā jūtības koeficienta vērtība. Savukārt aizsardzībai darbojoties kā rezerves aizsardzībai, minimālā pieļaujamā jūtības koeficienta vērtība ir 1,2.

Ja $K_j < 1,5$, tad jāmaina releju aizsardzības shēma vai jālieto citi releji ar lielāku jūtību. n releju aizsardzību nostrādes strāvu saskaņošana jāveic pēc formulas:

$$I_{a.no.n} = 1,1 \dots 1,3 I_{a.no.n-1} / K_s \quad (2.7.12)$$

$I_{a.no.n}$ – n - aizsardzības nostrādes strāva;

$I_{a.no.n-1}$ – nostrādes strāva aizsardzībai, kura no n -tas aizsardzības atrodas virzienā uz slodzes pusi;

K_s – strāvas sadalījuma koeficients, $K_s = I_{k.n-1} / I_{k.n}$, kur $I_{k.n-1}$ un $I_{k.n}$ – īsslēguma strāvas, kas, notiekot īsslēgumam, plūst caur saskaņojamām aizsardzībām.

2.7.2.2. Maksimālās strāvas aizsardzība pret pārslodzi

Saskaņā ar elektroietaišu izbūves noteikumiem, 6-20kV sprieguma līnijās, kurās iespējamas ilgstošas bīstamas pārslodzes, uzstāda speciālu maksimālās strāvas aizsardzību pret pārslodzi, kas iedarbina signālu vai atslēdz jaudas slēdzi. Strāvas releja iestatījumu aprēķina pēc formulas:

$$I_{no} = K_{dr} / K_{at} * I_{d.norm} / K_I \quad (2.7.13.)$$

Jāpiezīmē, ka praksē $I_{d.max} = (1,5 - 2,0) I_{d.norm}$

Laika iestatījumu aizsardzības iedarbei uz signālu nosaka:

$$t_{ie} = t_{max} + \Delta t \quad (2.7.14.)$$

$t_{\max}$ – kabelim pieslēgtas releju aizsardzības maksimālais darbības laiks;

Δt – selektivitātes laika pakāpe.

Ja releju aizsardzība atslēdz jaudas slēdzi, tad laika iestatījumu nosaka atkarībā no pārslodzes veida - vadītāja silšanas apstākļiem, vadītāja materiāla, tā maksimāli pieļaujamās temperatūras un citiem apstākļiem.

2.7.2.3. Momentāna strāvas aizsardzība

Momentānās strāvas aizsardzība atšķiras no maksimālas strāvas aizsardzības ar to, ka tai nostrādes strāvu $I_{a.no}$ izvēlas nevis pēc maksimālas darba strāvas $I_{d.max}$, bet gan pēc maksimālās īsslēguma strāvas $I_{k.max}$ vērtības aizsargājamās līnijas galā. Aizsardzības nostrādes strāva:

$$I_{a.no} = K_{dr} I_{k.max} \quad (2.7.15.)$$

K_{dr} – drošības koeficients ($K_{dr} > 1$); $I_{k.max} = I_k^{(3)}$ – trīsfāžu īsslēguma strāvas periodiskās komponentes efektīvā vērtība laika momentā $t=0$ pie īsslēguma aizsargājamās līnijas galā.

Momentāno strāvas aizsardzību veido bez laika kavējuma. Ja līnijā uzstādīti pārsprieguma novadītāji, tad momentānās strāvas aizsardzības laikam jābūt tādām, lai tā nenostādātu pārsprieguma aizsardzības darbības laikā. Tas nenotiek, ja ievērots nosacījums $t_{a.no} > t_{izl}$. Pārsprieguma novadītāju nostrādes laiks $t_{izl} = 0,01 \dots 0,03$ s, bet, ja tie darbojas kaskādēs, $t_{izl} = 0,04 \dots 0,06$ s. Momentānā strāvas aizsardzība neaizsargā visu vidējā sprieguma līniju, līdz ar to to nevar uzskatīt par līnijas pamataizsardzību.

6-20 kV sprieguma sadales tīklu aizsardzība pret zemesslēgumu tīklos ar izolētu vai kompensētu neitrāli

Zemesslēgums vidējā sprieguma tīklos lietotājus tieši neietekmē, bet ir bīstams elektroietaisies izolācijai kā arī apkalpojošam personālam. Zemesslēguma vietā pastāvošais elektriskais loks var radīt bīstamus pārspriegumus, caursist izolāciju un pāriet starpfāžu bojājumā. Tāpēc elektroietaišu izbūves noteikumi paredz šajos tīklos uzstādīt izolācijas pretestības kontroles iekārtas vai arī speciālu releju aizsardzību, kas iedarbina signalizāciju. Pēc tam, kad ir saņemta informācija par stabilu zemesslēgumu, veic nepieciešamos pasākumus bojājuma lokalizēšanai. Releju aizsardzībai pret zemesslēgumiem jābūt daudz jūtīgākai kā releju aizsardzībai pret starpfāžu īsslēgumiem. Tai jāreaģē uz zemesslēguma strāvām I_z , kuras ir ievērojami mazākas par $I_{d.max}$, tas ir, $I_z = 3I_0^{(1)} < I_{d.max}$, kur $I_z = 3I_0^{(1)}$ – nullsecības strāvas komponente, kura plūst līnijas sākumā releju aizsardzības uzstādīšanas vietā. Uz šiem bojājumiem nereaģē maksimālās strāvas

aizsardzības, jo tām $I_{a.no} > I_{d.max}$. Šim nolūkam uzstāda speciālu zemesslēguma strāvas releju aizsardzību.

Releju aizsardzībai jādarbojas selektīvi. Tā drīkst nostrādāt tikai tad, ja zemesslēgums radies aizsargājamā līnijā, un nedrīkst, ja bojājums pastāv citās līnijās. Šim nolūkam pareizi jāizvēlās zemesslēguma aizsardzības nostrādes strāva:

$$I_{a.no} = K_{dr} K_c * 3 \omega C_f U_f \quad (2.7.16.)$$

K_{dr} – drošības koeficients ($K_{dr} = 1, 1 \dots 1, 2$)

$K_c = 4 \dots 5$ – drošības koeficients, ar kuru ievēro kapacitatīvo strāvu izmaiņas (ja aizsardzībai ir laika kavējums, tad $K_c = 2 \dots 3$)

C_f un U_f – līnijas vienas fāzes kapacitāte un vienas fāzes spriegums

Aizsardzības jūtības koeficients:

$$K_j = I_{z.n}^{(1)} / I_{a.no} = 3 \omega (C_{\Sigma} - C_f) U_f / I_{a.no} \quad 1, 25 \quad (2.7.17.)$$

$I_{z.n}^{(1)}$ – strāva bojātajā līnijā

C_{Σ} – visu līniju kapacitāte

C_f – dotās aizsargājamās līnijas kapacitāte

U_f – dotās līnijas vienas fāzes spriegums

Izolētas neitrāles tīklos zemesslēguma strāvas raksturs ir kapacitatīvs un to aptuveni var noteikt:

$$I_z(c) = U * L / a \quad (2.7.18.)$$

U – tīkla līnijas spriegums, kV

L – summārais līniju garums, km

a – koeficients, gaisvadiem $a = 350$, kabeļiem $a = 10$

Ja zemesslēguma strāva ir zināma, tad aizsardzības nostrādes strāvu nosaka:

$$I_{a.no} = K_{dr} K_c I_z^{(1)} \quad (2.7.19.)$$

Jūtības pārbaude ir nepieciešama, lai ņemtu vērā strāvas kompensāciju bojātajā līnijā, ko izraisa pārējās nebojāto līniju strāvas, kas plūst pretējā virzienā. Parasti $I_{z.n}$ ir par 1/5 daļu mazāka nekā zemesslēguma aplēses strāva $I_z^{(1)}$.

Vidējā sprieguma tīklos ar kompensētu neitrāli kapacitatīvā zemesslēguma strāva tiek kompensēta dzēšspolē. Rezonanses gadījumā dzēšspole ievērojami samazina zemesslēguma strāvu, un bojājuma vietā plūst tikai spoles un elektriskā tīkla radīto zemesslēguma strāvu aktīvo komponentu summa, kā arī augstākās harmonikas.

2.7.2.4. Automātiskā atslodze pēc frekvences

Energosistēmai normālā režīmā ir pietiekamas ģenerējošas jaudas rezerves. Frekvences un aktīvās jaudas regulēšanas sistēma nodrošina ģenerējošai maiņstrāvai nominālo frekvenci $f_{\text{nom}} = 50 \text{ Hz} = \text{const.}$, ja tiek ievērots noteikums, ka $P_{\text{sum}} = P_{\text{sum.pat}}$, kur P_{sum} – sistēmas ģeneratoru ražotā summāra aktīvā jauda, bet $P_{\text{sum.pat}}$ – elektroapgādes sistēmas patērētāju summārā jauda. Ja $P_{\text{sum}} < P_{\text{sum.pat}}$, tad energosistēmā ir rodas jaudas deficīts $P_{\text{def}} = P_{\text{sum.pat}} - P_{\text{sum}}$, kā rezultātā notiek frekvences pazemināšanās. Frekvences novirze no nominālās vērtības par $\pm 0.1 \text{ Hz}$ (īslaicīgi līdz $\pm 0.2 \text{ Hz}$) ir pieļaujama un energosistēmas normālam darba režīmam nav bīstama. Jāpiebilst, ka patērētāju tehniski ekonomiskos rādītājus šāda neliela frekvences pazemināšanās tomēr pasliktina. Frekvences pazemināšanās vairāk par 1 Hz rada sistēmas darbībai bīstamas sekas un var izraisīt energosistēmas pilnīgu sadalīšanos.

Līdz ar sprieguma un frekvences pazemināšanos, samazinās asinhrono dzinēju rotācijas frekvence, izraisot mehānismu tehnoloģiskā procesa traucējumus un darba ražīguma samazināšanos. Sevišķi bīstami tas var būt termoelektrostaciju pašpatēriņa iekārtām. Termoelektrostacijās var tikt izraisīts lavīnveida frekvences un sprieguma pazemināšanās process. Frekvences pazemināšanās izsauc energosistēmas reaktīvas jaudas patēriņa pieaugumu, vēl vairāk sarežģījot tās darba režīmu.

Rodoties pēkšņi ievērojamam aktīvās jaudas deficītam, energosistēmas frekvences pazemināšanās process noris ļoti ātri – dažās sekundēs. Tāpēc elektrisko staciju dežurējošais personāls praktiski nespēj veikt efektīvus pasākumus avārijas režīma ātrai novēršanai.

Jaudas deficītu energosistēmā var samazināt:

- 1) darbā esošos sinhronos ģeneratorus noslogojot līdz pieļaujamai jaudai;
- 2) pieslēdzot sistēmai papildu rezerves ģeneratorus;
- 3) sinhronos kompensatorus (hidroelektrostaciju ģeneratorus) pārslēdzot ģenerators režīmā;
- 4) automātiski atslēdzot mazāk svarīgu patērētāju daļu, lai sistēmā iestātos jaudu līdzsvars, tas ir, lai $P_{\text{sum}} > P_{\text{sum.pat}}$.

Latvijā energosistēmas atslogošanu jaudas deficīta gadījumā veic automātiski. Tam nolūkam 110 kV apakšstacijās vidējā sprieguma pieslēgumos, patērētāju ātrai automātiskai atslēgšanai, uzstāda speciālas automātikas ierīces automātiskai atslodzei pēc frekvences (AAF). Dažreiz AAF ierīču darbību saista kopā ar automātiskās atkārtotās ieslēgšanās (AAI) ierīču darbību, izveidojot tā saukto frekvences AAI, kuru saīsināti var apzīmēt

AAIF. Šajā gadījumā AAF ierīču atslēgtās līnijas AAI ierīces ieslēdz no jauna pēc noteikta laika.

2.7.2.5. *Automātiskā atkārtotā ieslēgšana (AAI)*

Lai elektroapgādes sistēmā nodrošinātu patērētāju nepārtrauktu apgādi ar elektroenerģiju, nepieciešama energosistēmas elementu rezervēšana, piemēram, sistēma jānodrošina ar rezerves līnijām, transformatoriem un citiem elementiem, kas prasa samērā lielus izdevumus.

Daudziem bojājumiem vidējā sprieguma tīklā ir pārejošs raksturs, piemēram, atmosfēras pārspriegumi, elektrolīnijas vadu saskare stiprā vējā un apledojumā, putnu un vēja nolauztu koku zaru izraisītie īsslēgumi. Šajos gadījumos, aizsardzībai atslēdzot līniju, īsslēguma vietā izveidojies elektriskais loks ļoti ātri nodziest un līniju var ieslēgt no jauna. Šim nolūkam uzstāda speciālas līniju automātiskas atkārtotās ieslēgšanas (AAI) ierīces. AAI iedala vienkārtējās, divkārtējās un trīskārtējās darbības ierīcēs.

Īsslēguma ar vienkārtēju AAI releju aizsardzība atslēdz jaudas slēdzi. Līdz ar to tiek iedarbināta AAI ierīce, kas jaudas slēdzi ieslēdz atkārtoti. Ja īsslēgumam ir bijis pārejošs raksturs, un tas līnijas atslēgšanās laikā pats pazūd, līnija paliek zem sprieguma. Šajā gadījumā AAI ierīces darbību uzskata par sekmīgu. Pastāvīga (nepārejoša) īsslēguma gadījumā releju aizsardzība nostrādā otru reizi un līniju atslēdz - tiek uzskatīts, ka AAI ierīces darbība bijusi nesekmīga.

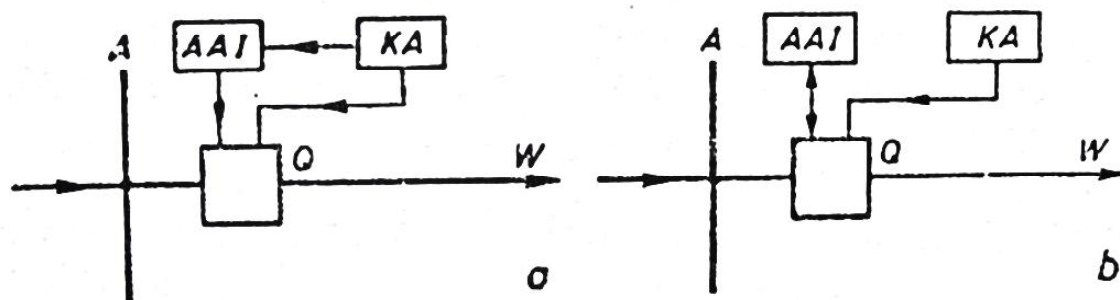
Divkārtējas AAI ierīce divas reizes ieslēdz bojāto vidējā sprieguma līniju. Ja īsslēgums ir pastāvīgs, trešo reizi atslēdzot līniju aizsardzībai, AAI ierīce tiek bloķēta.

Trīskārtējas AAI ierīce trīs reizes ieslēdz bojāto līniju. Pastāvīga bojājuma gadījumā AAI ierīce tiek bloķēta un ceturto reizi vairs nenostādā.

Statistika liecina, ka AAI ierīču sekmīga darbība pirmajā ciklā vidēji ir 60 - 75%, otrajā ciklā - 10 - 15%, bet trešajā - tikai 1,5 - 3%. Tāpēc par visefektīvāko uzskatāma vienkārtējas AAI darbība.

AAI ierīci iedarbina tad, ja nostrādājusi releju aizsardzība, vai tad, ja neatbilst jaudas slēdža un vadības slēdža stāvokļi (2.31.attēls). Pirmajā gadījumā tiek palaista AAI iekārta un ieslēgts jaudas slēdzis Q, ja tas ticis atslēgts no releju aizsardzības. Otrajā gadījumā AAI ierīci iedarbina, ja ir neatbilstība starp vadības slēdža un jaudas slēdža stāvokļiem. Praksē bieži lieto šo paņēmieni (2.31.b attēls), kura galvenā priekšrocība ir tā, ka AAI ierīce tiek iedarbināta katra jaudas slēdža neoperatīvas atslēgšanas gadījumā.

Ja operatīvais personāls atslēdz jaudas slēdzi, tad AAI ierīce tiek bloķēta un netiek iedarbināta.



2.31.attēls. Līnijas W releju aizsardzības (KA) un automātiskās atkārtotās ieslēgšanas (AAI) struktūrshēmas:

a - ja ierīci darbinareleju aizsardzība; *b* - ja AAI ierīci darbina, kad starp jaudas un vadības slēdža stāvokļiem rodas neatbilstība; *A*- apakšstacija, *W*-līnija.

AAI ierīci sākuma stāvoklī var atgriezt operatīvais personāls ar rokas vadību vai arī to var veikt automātiski. Pirmajam AAI ierīces atgriešanas veidam ir tāds trūkums, ka sekmīgas AAI ierīces nostrādes gadījumā tā gatavība atkārtotai darbībai ir tieši saistīta ar operatīvo personālu (pēc sekmīgas AAI tas nav paguvis atgriezt ierīci sākuma stāvoklī). Tādēļ pamatā izmanto AAI ierīces ar automātisku atgriešanos sākuma stāvoklī.

No darbības drošuma viedokļa AAI ierīces shēma jāveido iespējami vienkārša ar minimālu kontaktu skaitu. Lai lietotāji enerģijas pārtraukumu praktiski nejustu, tad pēc iespējas jālieto ātrdarbīgas AAI ierīces ar minimālu t_{AAI} (t_{AAI} -nostrādes laiks, laiks no AAI ierīces palaišanas momenta līdz momentam, kad tiek padots impulss uz jaudas slēdža atslēgšanas spoli). Tāpēc ir jāizvēlās jaudas slēdži ar mazu ieslēgšanas laiku (ātrdarbīgi). Minimālais laiks, ar kādu AAI ierīce var ieslēgt radiālu vidējā sprieguma līniju, ir 0,3 - 0,5 s.

AAI ierīce nedrīkst nostrādāt vairāk reižu kā ir paredzēts. Piemēram, divkārtējās AAI ierīce drīkst nostrādāt tikai divas reizes. Šim nolūkam ierīcē jābūt paredzētai bloķēšanai. AAI ierīces shēmai jānodrošina tās ātra atgriešanās sākuma stāvoklī, lai tā būtu sagatavota atkārtotai darbībai.

Ļoti svarīgi ir saskaņot releju aizsardzības un AAI ierīču darbību. Radiālās vidējā sprieguma līnijās releju aizsardzības saskaņošana ar AAI ierīci tiek balstīta uz diviem nosacījumiem: nav pieļaujama neselektīva releju aizsardzības darbība un jāizveido paātrināta, kaut arī neselektīva aizsardzība (ieslēdzot jaudas slēdzi uz nepārejošu

bojājumu), tādējādi panākot paātrinātu īsslēguma atslēgšanu. Pirmajā gadījumā releju aizsardzība darbojas selektīvi gan pirms AAI ierīces nostrādes, gan pēc tās, kas atbilst normālai selektīvai releju aizsardzības darbībai.

Kontroljautājumi 2. nodaļai.

1. Kāds ir releju aizsardzības pamatuzdevums?
2. Cik releji aizsargā iespējamo bojājuma vietu?
3. Kādos gadījumos releju aizsardzība nenostrādā?
4. Kādi ir releju aizsardzības un automātikas pārbaužu veidi un to periodiskums?
5. Kā tiek iedalīti tiešās darbības sekundārie releji?
6. Ar ko atšķiras tiešās darbības releji no netiešās darbības relejiem?
7. Kādas sistēmas sekundāros relejus var izmantot aizsardzībai pret pārslodzi un īsslēgumu vienlaicīgi?
8. Kādam nolūkam nepieciešami laika releji?
9. Kādus relejus izmanto, ja vienlaikus nepieciešams komutēt vairāk ķēžu, nekā tas iespējams ar mērīšanas releju kontaktiem?
10. Kādam nolūkam izmanto signālrelejus?
11. Kādu elektroietaišu aizsardzībai izmanto gāzes relejus?
12. Ar kādām aizsardzībām ir jāpapildina gāzes aizsardzība?
13. Ko releju aizsardzībā nozīmē termins „statisks”?
14. Kādas ir svarīgākās digitālā releja sastāvdaļas?
15. Kādā veidā digitālajos relejos procesors saņem strāvas un sprieguma vērtības?
16. Kāpēc ir jāveic digitālo releju aizsardzības pārbaudes?
17. Kā tiek iedalītas releju aizsardzības pārbaudes?
18. Kas ir jāatvieno, veicot sekundārās pārbaudes?
19. Kā sauc releju pārbaudes iekārtu, ar kuru pārbaudes var veikt tikai kopā ar datoru?
20. Kā tiek savienoti strāvmaiņu sekundārie tinumi diferenciālajai aizsardzībai?
21. Kas nosaka minimālo strāvu, kurā nedrīkst nostrādāt maksimālās strāvas aizsardzība?
22. Kura no sadales tīklā pielietojamajām līnijas aizsardzībām neaizsargā visu līniju?
23. Kādam nolūkam lieto automātisko atkārtoto ieslēgšanu (AAI)?
24. Kura cikla AAI ierīce tiek uzskatīta par visefektīvāko?

3. Neitrāles darba režīmi vidējā sprieguma tīklos Latvijas energosistēmā.

Par **neitrāli** sauc trīsfāžu elektroiekārtas tinumu kopīgu punktu, tas ir, neitrālpunktu, kura potenciāls normālos darba apstākļos vienāds ar nulli; transformatoriem un ģeneratoriem neitrāle ir zvaigznes jeb zigzaga slēgumā savienoto tinumu kopīgais punkts. (16) *Tīkla*

neitrāles darba režīms ir neitrālpunkta zemēšanas veids.

Projektējot un ekspluatējot vidējā sprieguma tīklu, neitrāles darba režīma izvēle vidējā sprieguma tīklos (6kV, 10kV, 20 kV) ir ļoti svarīga.

Pēc izvēlēta neitrāles darba režīma vidējā sprieguma tīklā nosaka:

- tīkla elektroapgādes darba režīmu;
- prasības personālam un elektroiekārtām zemesslēguma gadījumā;
- elektroiekārtas izolācijas līmeni;
- zemesslēguma releju aizsardzības shēmas izveidi;
- zemējuma kontūra pieļaujamo pretestību;
- veic metāloksīda izlādņa (bez dzirksteļspraugām) izvēli pārsprieguma aizsardzībai.

Tātad izvēlētais tīkla neitrāles darba režīms būtiski ietekmē tehniskos risinājumus vidējā sprieguma tīklā.

Latvijas energosistēmā vidējā sprieguma tīklos lieto 3 veidu neitrāles darba režīmus, tas ir, trīs neitrālpunkta zemēšanas variantus: (attēls 3.1.):

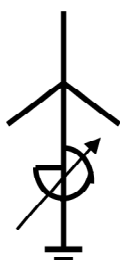
a- izolēta neitrāle (nezemēta)

b- kompensēta neitrāle (zemēta caur lokdzēses reaktoru)

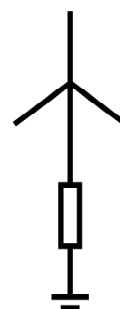
c- neitrāle, kas zemēta caur zemomīgu rezistoru



3.1.a - izolēta



3.1.b- kompensēta
neitrāle



3.1.c - neitrāle ar zemomīgu
rezistoru

3.1. attēls. Latvijas energosistēmā izmantotie neitrāles darba režīmi 6 – 20 kV tīklos.

Vidējā sprieguma tīklā ar kompensētu neitrāli tiek lietots arī lokdzēses reaktora paralēls slēgums ar rezistoru. Zemesslēguma gadījumā šajā slēgumā lokdzēses reaktors nodrošina īslaicīgu vienfāzes izolācijas pārklāšanas (caursišanas) slāpēšanu, bet pieslēgtais zemomīgais rezistors nodrošina selektīvu vidējā sprieguma izvada noteikšanu. Zemomīgā

pretestība tiek pieslēgta tīkla neitrālei īslaicīgi ar speciālo vienfāzes jaudas slēdzi paralēli lokdzēses reaktoram (17).

Iepazīstoties ar pasaules valstu praksi (tabula 3.1.) par vidēja sprieguma ($3 \div 69$ kV) tīkla neitrāles darba režīmu, redzams, ka daudzās valstīs priekšroka tiek dota vidējā sprieguma tīkliem ar kompensētu neitrāli vai neitrāli, kas zemēta caur rezistoru, nevis tīkliem ar izolētu neitrāli. (17)

Valsts	Neitrāles darba režīms		
	Izolēta neitrāle	Kompensēta neitrāle	Neitrāle zemēta caur rezistoru
ASV			+
Austrālija		+	+
Austrija			+
Beļģija			+
Čehija		+	+
Francija		+	+
Itālija		+	+
Japāna			+
Kanāda			+
Krievija	+	+	
Lielbritānija			+
Norvēģija		+	+
Portugāle			+
Slovākija		+	+
Somija	+	+	+
Spānija		+	+
Šveice		+	+
Vācija		+	+
Zviedrija		+	+

3.1.tabula

Neitrāles darba režīmi vidējā sprieguma tīklos 3 – 69 kV dažādās pasaules valstīs

Latvijas energosistēmā vidējā sprieguma tīklos, līdzīgi kā Skandināvijas valstīs (Somijā, Zviedrijā), pamatā tiek izmantots izolēts, kompensēts un zemēts caur neitrāles rezistoru darba režīms. Zemomīgo neitrāles darba režīmu Latvijā lieto vidējā sprieguma kabeļu tīklos lielajās pilsētās (Rīgā, Liepājā un Daugavpilī).

Tabulā 3.2. apkopota informācija par Latvijas energosistēmas 110 kV apakšstaciju 6kV, 10kV, 20 kV kopņu sekciju neitrāles darba režīmiem. Tajā var redzēt, ka Latvijas energosistēmā 6 kV tīklā ir 42 kopņu sekcijas, kurām pieslēgtais vidējā sprieguma tīkls ir ar izolētu neitrāli. 10 kV tīklā ir 121 kopņu sekcija. No tām ar izolētu neitrāli strādā 43 kopņu sekcijas, ar kompensētu neitrāli 19, bet ar zemomīgu neitrāli 59 kopņu sekcijas. 20

kV tīklā ir 197 kopņu sekcijas un no tām ar izolētu neitrāli strādā 125 un ar kompensētu neitrāli 72 kopņu sekcijas.

Kopņu sekcija	Neitrāles darba režīms			
	Izolēta neitrāle	Kompensēta neitrāle	Zemomīga neitrāle	Kopā
KS -6 kV	42	-	-	42
KS - 10 kV	42	19	59	121
KS - 20 kV	125	72	-	197
Kopā	210	91	59	360

3.2.tabula

110/6-20 kV apakšstaciju kopņu sekciju neitrāles darba režīmi Latvijas energosistēmā.

Saskaņā ar Latvenego (AS „Sadales tīkls”) tehniskās attīstības politiku, 2011. gadā ir uzsākta un līdz 2040. gadam turpināsies 20 kV gaisvadu līniju nomaiņa ar kabeļu līnijām Republikas pilsētās, kā arī blīvi apdzīvotās vietās laukos. Līdz ar to tuvākajos 10 gados lielākās Latvijas pilsētās attīstīsies tīkli ar zemomīgo neitrāli, bet lauku apvidos tīkli ar kompensētu neitrāli. Salīdzinot ar esošo situāciju, vidējā sprieguma tīklu skaits ar izolētu neitrāli ievērojami samazināsies.

Vidējā sprieguma tīkliem ar izolētu vai kompensētu neitrāli piemīt ļoti svarīga īpašība – nav nepieciešama tūlītēja bojātās vidējā sprieguma tīkla daļas atslēgšana vienfāzes īsslēguma (zemesslēguma) gadījumā.

Tīklos ar izolētu, kompensētu vai pilnībā kompensētu (kapacitatīvās un aktīvas strāvas kompensācija zemesslēguma gadījumā) neitrāli pieļaujama gaisvadu un kabeļu līniju darbība, pastāvot zemesslēgumam. Zemesslēguma vietas atrašana jāsāk nekavējoties un zemesslēgums jānovērš iespējami īsā laikā. (3)

Zemesslēguma strāvai jābūt kompensētai, ja tā pārsniedz šādus lielumus:

- 30 A (6 kV tīklā)
- 25 A (10 kV tīklā)
- 20 A (20 kV tīklā)

6 kV – 20 kV tīklos ar gaisvadu līnijām dzelzsbetona balstos zemesslēguma strāvai jābūt kompensētai, ja tā pārsniedz 10 A (3).

Jāatzīmē, ka energostandarta LEK 002 piemērošana ir obligāta Latvenego koncernā un tās meitas uzņēmumos AS „Sadales tīkls” un AS ”Latvijas elektriskie tīkli”, pārējo uzņēmumu vidējā sprieguma elektriskos tīklos standarta lietošana ir brīvprātīga.

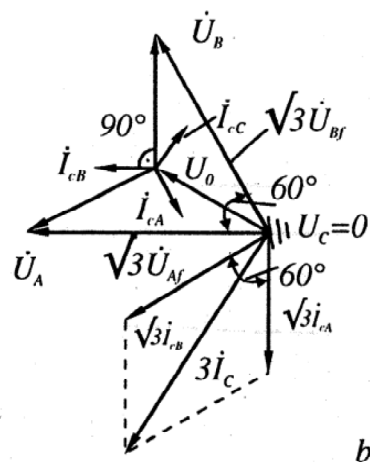
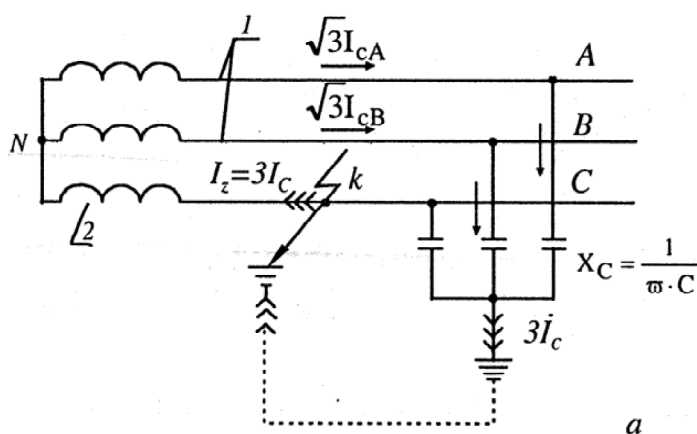
3.1. Tīkls ar izolētu neitrāli

Vienfāzes īsslēguma (zemesslēguma) gadījumā vidējā sprieguma tīklos (6kV, 10kV, 20kV) ar izolētu neitrāli strāvas lielumu nosaka kā fāžu daļējās kapacitātes C_0 attiecībā pret zemi (attēls 3.2.a). Katras fāzes kapacitāte sastāv no daļējām kapacitātēm attiecībā pret zemi C_0 un starpfāžu kapacitātēm C_m

$$C_f = C_0 + 3 \cdot C_m.$$

Zemesslēguma strāvas lielums atkarīgs no tīkla sprieguma, vidējā sprieguma tīkla konstruktīvā izveidojuma un pieslēgtā tīkla garuma. Notiekot zemesslēgumam C fāzē, $U_C = 0$ (attēls 3.2.a), divās pārējās fāzēs spriegums palielinās $\sqrt{3}$ reizes. Bojātajā fāzē kapacitatīvā strāva ir 0, jo $U_C = 0$, bet abu pārējo fāžu kapacitatīvās strāvas palielinās proporcionāli sprieguma pieaugumam uz fāžu kapacitātēm, respektīvi, par $\sqrt{3}$ reizēm. Gaisvadu vidējā sprieguma tīklos kapacitātes C_A , C_B , C_C nav vienādas pat vadu transpozīcijas gadījumā. Tāpēc vidējā sprieguma tīklā normālajā režīmā parādās spriegums neitrālē $U_0 = U_{ns}$ (nesimetrijas spriegums). Nesimetrijas spriegumu var aprēķināt pēc formulas (18):

$$U_{ns} = - \frac{U_A \cdot \omega \cdot C_A + U_B \cdot \omega \cdot C_B + U_C \cdot \omega \cdot C_C}{\omega \cdot (C_A + C_B + C_C)}, \quad (3.1)$$



ω - leņķiskā frekvence (rad/s), $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$.

3.2. attēls. Tīkla shēma ar izolētu neitrāli:

3.2.a – kapacitatīvās strāvas trīs fāžu tīkla shēma vienfāzes īsslēgumam (zemesslēgumam);

1 – elektriskā līnija 2 – transformatora sekundārais tinums

3.2.b – vektoru diagramma

Normālā režīmā pieņemts, ka $U_0 = U_{ns} \approx 0$. Kapacitatīvās strāvas normālajam darba režīmam nosaka pēc formulas:

$$I_{cA} = I_{cB} = I_{cC} = U_f \cdot \omega \cdot C \quad (3.2)$$

Avārijas režīmā (zemesslēguma gadījumā):

$$U_0 = U_f; \sqrt{3} \cdot I_{cA} = \sqrt{3} \cdot I_{cB}; I_{cC} = 0 \quad (3.3)$$

Kopējā strāva ir ģeometriskā strāvu summa (attēls 3.2.b)

$$I_z = \sqrt{3} \cdot I_{cA} + \sqrt{3} \cdot I_{cB} = 3 \cdot I_c. \quad (3.4)$$

Šī kopējā zemesslēguma strāva plūdis caur C fāzes savienojuma vietu ar zemi un noslēgsies caur barošanas avotu. To var aprēķināt pēc izteiksmes:

$$I_z = 3 \cdot \omega \cdot U_f \cdot C_0 \cdot l \times 10^{-6} \quad (3.5)$$

kur C_0 - kapacitāte attiecībā pret zemi, $\mu\text{F}/\text{km}$;

l - tīkla garums, km.

C_0 kapacitāte attiecībā pret zemi ir atkarīga no gaisvadu līnijas un kabeļa līnijas konstruktīvā izveidojuma. Tā mainās plašās robežās. Aptuvenos aprēķinos trīsdzīslu kabeļiem var pieņemt, bet 20 kV sprieguma gaisvadu līnijām. Ievērojot to, ka aptuveno zemesslēguma strāvu kabeļiem var aprēķināt pēc formulas: (4)

$$I_z^{(1)} = \frac{U \cdot I}{10}, \quad (3.6)$$

gaisvadu līnijām:

$$I_z^{(1)} = \frac{U \cdot I}{350}, \quad (3.7)$$

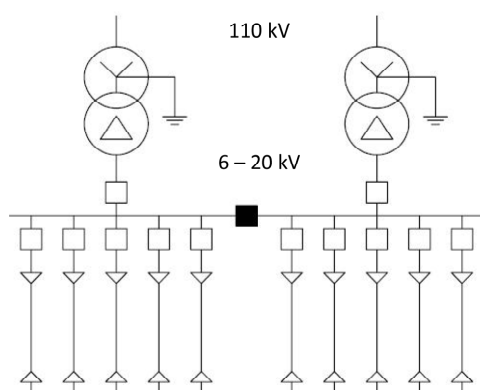
U - līnijas spriegums, kV;

I - līnijas garums, km.

Nemetāliska zemesslēguma gadījumā, ja ievēro pārejas pretestību R_z , $U_c \neq 0$ īsslēguma vietā rodas *intermitējošs (pulsējošs) loks*, kurš brīžiem iedegas un nodziest (R_z - elektriskā loka, bojātās izolācijas un zemes pretestība). Intermitējoša loka gadījumā starp tīkla induktivitāti un kapacitāti rodas augstfrekvences brīvās elektriskā lauka svārstības, kuras tīklā rada pārspriegumus. Pārsprieguma amplitūda $6 \div 20$ kV tīklos var sasniegt $3,5 \cdot U_{fmax}$ nebojātās fāzēs un $2,2 \cdot U_{fmax}$ fāzē, kurā pastāv zemesslēgums. Šādi pārspriegumi

normālai izolācijai var būt bīstami. Ilgstoša to iedarbība uz izolāciju, sevišķi kabeļu līnijās, loka termiskās iedarbības rezultātā var radīt izolācijas caursišanu. Kabeļa izolācijas caursišanas gadījumā kādā no fāzēm, pārsprieguma rezultātā, vienfāzes zemesslēgums kabelī pārtop divfāžu īsslēgumā, tādējādi izsaucot pieslēgtā vidējā sprieguma pieslēguma automātisku atslēgšanos (18).

Attēlā 3.3. parādīta tipveida 110 kV apakšstacijas shēma ar diviem 110 kV divtinumu transformatoriem un izolētu neitrāli vidējā sprieguma tinumā. Kā redzams attēlā 3.3., tīkla neitrāles punkts vidējā sprieguma ($6 \div 20$ kV) pusē fiziski neeksistē, jo 110 kV spēka transformatoru sekundārie tinumi ir savienoti trīsstūrī.



3.3. attēls. Tipveida divtransformatoru apakšstacijas shēma ar izolētu neitrāli vidējā sprieguma tinumā ($6 - 20$ kV).

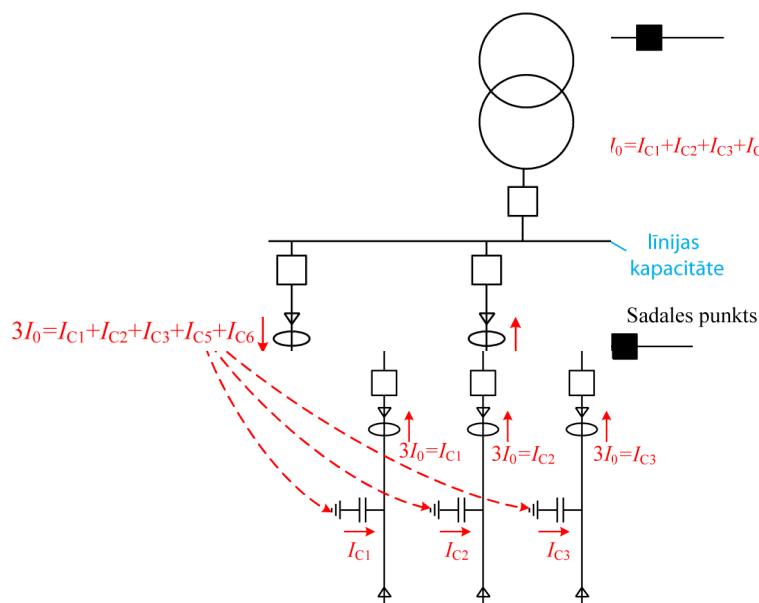
Pieredze, kas uzkrāta, visā pasaulē ekspluatējot vidēja sprieguma tīklu ar izolētu neitrāli, ļauj spriest par šādiem būtiskiem tās trūkumiem: (17)

- zemesslēgumu gadījumā elektriskā tīklā rodas pārspriegumi un to rezultātā tiek caursista izolācija arī nebojātajos fīderos;
- sarežģīta bojājuma vietas noteikšana;
- vairāku izolācijas bojājumu rašanās iespējamība (vienlaicīgs izolācijas bojājums dažādos fīderos) elektriskā tīklā zemesslēguma gadījumā;
- iespējami spriegummaiņu bojājumi tīklā zemesslēguma gadījumā;
- ilglaicīga zemesslēguma gadījumā vīdsprieguma elektriskā tīklā pastāv teorētiska iespēja cilvēkiem un dzīvniekiem gūt elektrotraumas.

Vairākās Eiropas valstīs, Ziemeļamerikā un Dienvidamerikā, un Austrālijā vidējā sprieguma tīklos ($3 - 69$ kV) izolētas neitrāles darba režīmu izmanto ārkārtīgi reti (izņēmuma gadījumos). Lielākoties šo valstu vidēja sprieguma elektriskais tīkls strādā ar kompensētu neitrāli vai neitrāli, kas zemēta caur rezistoru.(17)

Viena no Eiropas valstīm, kurā tiek izmantots vidējā sprieguma tīkls ar izolētu neitrāli,

ir Somijā. Tur minētais neitrāles režīms tiek izmantots tikai 20 kV gaisvadu tīklos. Zemesslēguma aizsardzība atslēdz momentāni bojāto gaisvadu līniju. Gadījumā, ja nenotradā atejošas līnijas jaudas slēdzis, pēc 0,5 sekundēm atslēdzas vidējā sprieguma kopņu sekcijas jaudas slēdzis. Izolētas neitrāles darba režīms 20 kV gaisvadu tīklos Somijā tiek izmantots tikai releju aizsardzības jūtības paaugstināšanai un cilvēku drošībai zemesslēgumu gadījumā, jo grunts pretestība šīs valsts lielākajā teritorijas daļā ir 20÷50 reizes augstāka nekā vidēji Eiropā (17).



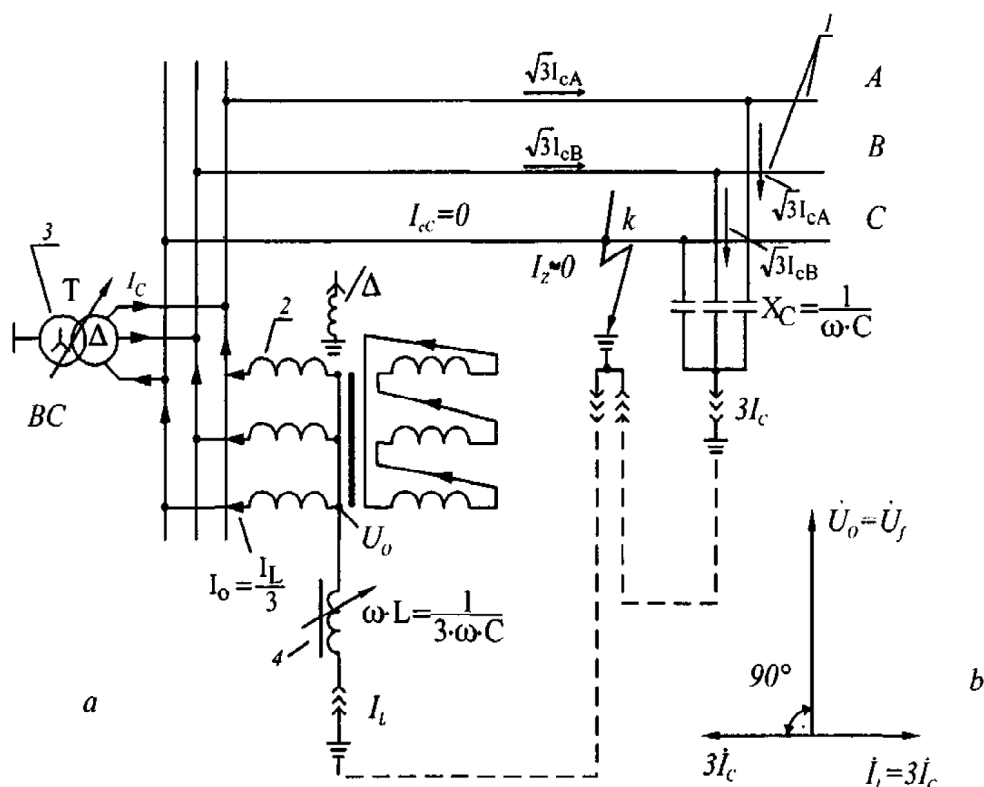
3.4 attēls. Kapacitatīvās strāvas sadalījums 6 – 20 kV tīklā ar izolētu neitrāli zemesslēguma gadījumā.

Attēlā 3.4 redzams, kā katras pievienotās līnijas kapacitāte ietekmē 110 kV apakšstacijas 6 – 20 kV kopņu kopējo kapacitatīvo strāvu.

3.2. Tīkls ar kompensētu neitrāli

6 – 20 kV tīklos, kur lielākais īpatsvars ir kabeļiem (sevišķi 20 kV tīklos), zemesslēguma strāvas (kapacitatīvās strāvas) ievērojami pārsniedz reglamentētās strāvas. Lielās zemesslēguma strāvas samazina elektroapgādes drošumu un izraisa nevēlamas parādības – zemesslēgums var pāraugt divfāzu (trīsfāzu) īsslēgumā. Zemesslēguma vietā rodas nepieļaujams soļa spriegums, komutācijas pārspriegumi, kā arī var pastāvēt sakaru līniju traucējumi. (18)

Lai ierobežotu zemesslēguma strāvas, 110 kV apakšstacijās uzstāda kompensējošās iekārtas – regulējamās induktīvās spoles ar dzelzs serdi. Dažkārt literatūrā tās sauc arī par „loka dzēšanas spolēm”, „loka dzēšanas reaktoriem” vai to izgudrotāja vārdā par „Pētersona spolēm”. Kompensējamam tīklam dzēšspoli pieslēdz caur speciāli uzstādīta zemēšanas transformatora (slēguma grupa zemēta zvaigzne / trīsstūris) primārā tinuma neitrāli (attēls 3.5.a). (18)



3.5. attēls. Tīkla shēma ar kompensētu neutrāli:

3.5.a – kapacitatīvo strāvu kompensācijas shēma; 1 – elektriskā līnija, 2 – zemēšanas transformators, 3 – barojošais transformators, 4 – induktivitātes spole ar dzelzs serdi (zemēšanas reaktors), BC – barošanas centrs;
3.5.b – vektoru diagramma (strāvu un spriegumu).

Vienfāzes zemesslēguma gadījumā spriegums divās nebojātajās fāzēs pieaug par $\sqrt{3}$ reizēm un neutrāles spriegums $U_0 = U_f$ (izolētas neutrāles gadījums). Šī sprieguma ietekmē caur loka dzēšanas spoli plūst strāva I_L . Spoles pretestību izvēlas tādu, lai induktīvā strāva I_L caur spoli būtu vienāda ar summāro kapacitatīvo strāvu $3I_c$, kura plūst caur fāžu kapacitātēm. Šajā gadījumā strāva caur zemējuma vietu veidošo divu strāvu ģeometrisku summu (attēls 3.5.b), kura ir aptuveni vienāda ar nulli: (18)

$$\text{vai} \quad \dot{I}_z = \sqrt{3} \cdot \dot{I}_{cA} + \sqrt{3} \cdot \dot{I}_{cB} - \dot{I}_L \approx 0 \quad \text{vai} \quad \dot{I}_z = 3 \cdot \dot{I}_c - \dot{I}_L \approx 0 \quad (3.8)$$

Dzēšspoles režīmu, kad kapacitatīvā strāva tiek pilnīgi kompensēta, sauc par rezonansi, $I_z \approx 0$. Praktiski caur zemēšanas vietu plūst neliela paliekošā strāva, kura satur aktīvo un reaktīvo komponenti, un tā ir nobīdīta no neutrāles sprieguma U_0 par nelielu leņķi.

Dzēšspolēm kompensētos tīklos ir jābūt apgādātam ar automātiskām rezonanses ieregulēšanas iekārtām. Ja šādas iekārtas nav, tad spoles pretestības jāiestāda ar tādu aprēķinu, lai būtu neliela pārkompensācija $I_L \geq 3 \cdot I_c$, kas samazina rezonanses pārsprieguma iespēju, rodoties kapacitatīvai asimetrijai tīklā.

Loka dzēšanas aparātu jaudu un pieslēgšanas shēmu izvēlas, projektējot atkarībā no tīkla kapacitatīvās strāvas, ņemot vērā elektrotīkla attīstības perspektīvu ar jaudas rezervi vismaz 35%. (3)

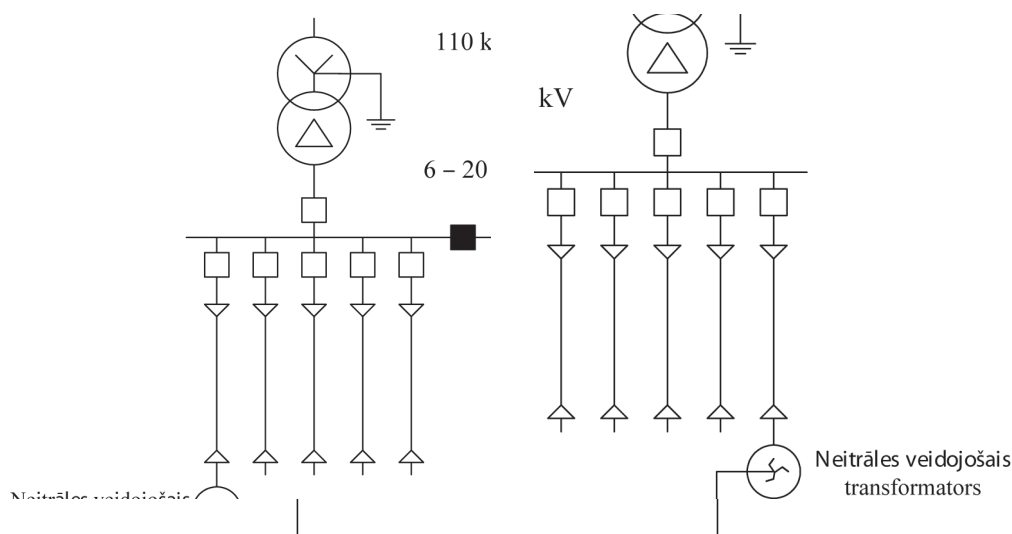
Ar tehniskā vadītāja atļauju ir pieļaujama papildus loka dzēšanas aparatūras paralēla uzstādīšana darbā esošai loka dzēšanas aparatūrai gadījumā, ja darbā esošajai loka dzēšanas aparatūrai rezerves jauda ir mazāka par 10% normālā darba režīmā. Papildus loka dzēšanas aparatūrai ir pieļaujama manuālā regulēšana. Loka dzēšanas aparatūras ieregulētai strāvai jābūt lielākai par tīkla minimālo kapacitāti. (3)

Loka dzēšanas aparāti jāuzstāda apakšstacijās, kas ar kompensējamo tīklu saistītas ne mazāk kā ar divām līnijām. Loka dzēšanas aparātus transformatoru vai ģeneratoru neitrālei jāpieslēdz ar atdalītājiem. Loka dzēšanas aparātu pieslēgšanai jāizmanto transformatori ar tinumu slēguma shēmu „zvaigzne-trīsstūris”. Loka dzēšanas aparātu pieslēgšana nav pieļaujama transformatoriem, kuri aizsargāti ar kustošajiem drošinātājiem (3).

Loka dzēšanas aparatūrai jābūt ieregulētai ar pārkompensāciju, ja zemesslēguma strāvas reaktīvā komponente nepārsniedz 5 A, bet izskaņojums nav lielāks par 5%. Ja 6 – 20 kV tīklos uzstādītiem loka dzēšanas aparātiem zemesslēguma strāvu starpība blakus izvados ir liela, pieļaujama loka dzēšanas aparatūras noskaņošana ar zemesslēguma strāvas reaktīvo komponenti, ne lielāku par 10 A. (3)

Pieļaujama ieregulēšana ar nepilnīgu kompensāciju kabeļu un gaisvadu tīklos ar nosacījumu, ka avārijas gadījumos (piemēram, pārtrūkstot kādam vadam vai izdegot drošinātājam) fāzu kapacitāšu nesimetrija neizraisa neitrāles nobīdi, kas lielāka par 70% no fāzes sprieguma (3).

Attēlā 3.6. ir redzama tipveida divtransformatoru apakšstacija ar neitrāli 6 – 20 kV pusē, kas zemēta caur dzēšspoli ar paralēli ieslēgto šuntējošo rezistoru.



3.6. attēls. Tipveida divtransformatoru apakšstacija ar neitrāli 6 – 20 kV pusē, kas zemēta caur dzēšspoli ar paralēli ieslēgto šuntējošo rezistoru.

Šajā režīmā, 6 – 20 kV kopņu sekcijai izmantojot vidējā sprieguma elektroietaisies ligzdu,

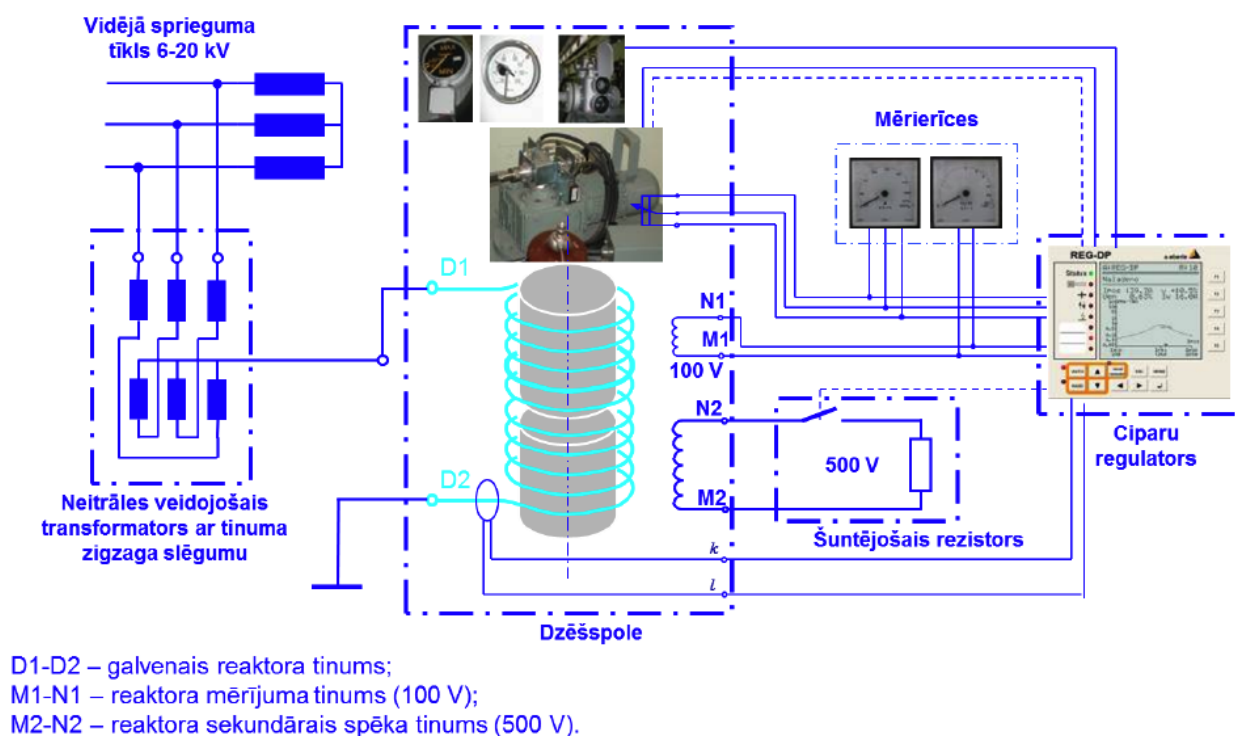
tiek pieslēgts neitrāles veidojošais transformators (ar tinumu slēgumu grupu Y-o/D vai Z-o) un dzēšspole.

Notiekot zemesslēgumam tīklā, dzēšspole bojājuma vietā izveido strāvas induktīvo komponenti, vienādu ar tīkla kapacitatīvo komponenti. Pie tam summāra strāva bojājuma vietā kļūst praktiski vienāda ar nulli un pirmo notikušo zemesslēgumu tīklā var neatslēgt. Zemsprieguma šuntējošs rezistors ar spriegumu 500 V tiek pieslēgts caur speciālu kontaktoru dzēšspoles sekundārajā spēka tinumā ar spriegumu 500 V.

Šim tehniskajam risinājumam ir šādas priekšrocības: (17)

- nav nepieciešama tūlītēja vienfāzes zemesslēguma atslēgšana un līdz ar to arī elektroapgādes pārtraukšana elektroenerģijas lietotājiem;
- bojājuma vietā ir tikai neliela (5-10A) paliekoša strāva;
- gaisvadu līnijās iespējama zemesslēguma pašlikvidācija;
- iespēja selektīvi nostrādāt releju aizsardzībai.

Tehniskā risinājuma blokshēma (strukturshēma) neitrāles zemēšanai caur dzēšspoli, izmantojot šuntēšanai zemsprieguma rezistoru, aplūkojama attēlā 3.7.



3.7. attēls. Tehniska risinājuma blokshēma-strukturshēma neitrāles zemēšanai caur dzēšspoli, izmantojot šuntējošo zemsprieguma rezistoru.

110 kV apakšstacijās ar vecās konstrukcijas dzēšspolēm ar manuālo regulēšanu un magnetizēšanas reaktoriem, vienfāzes zemesslēguma gadījumā zemējot neitrāli, eksistē

problēma nodrošināt selektīvu releju aizsardzības darbību.

Šajos tīklos nevar izmantot vienkāršu zemesslēguma aizsardzību un virzīto zemesslēguma strāvas aizsardzību. Pirmo tāpēc, ka dzēšspole kompensē zemesslēguma strāvu ($3I_0$) bojātā pieslēgumā praktiski līdz nullei. Otro tāpēc, ka strāvas ($3I_0$) virziens sakrīt bojātajā un nebojātos fīderos. Bojātajā fīderī virzienā „no kopnēm” plūstošā induktīva strāva ir vienāda ar fīdera kapacitatīvo strāvu, bet nebojātos fīderos kapacitatīvas strāvas virziens ir uz „uz kopnēm”. (17)

Neitrāles zemēšana caur dzēšspoli, izmantojot šuntējošo zemsprieguma rezistoru, kas tiek slēgts dzēšspoles sekundārajā tinumā ar spriegumu 500 V, ļauj zemesslēguma gadījumā realizēt selektīvo aizsardzību, izmantojot gan vienkāršas strāvas aizsardzības, gan arī sarežģītākas virzītas aizsardzības, kas balstītas uz $3I_0$ strāvu. Šajos gadījumos zemesslēguma aizsardzība darbojas uz signālu, jo strāva bojājuma vietā ir ļoti maza un tās tūlītēja atslēgšana nav nepieciešama. (17)

Šuntējoša zemsprieguma (500 V) rezistora izmantošanas gadījumā dzēšspolu izmantošanas loģika ir šāda: līdz zemesslēguma parādīšanās momentam dzēšspole ir iestatīta rezonanses režīmā un šuntējošais rezistors ir atslēgts. Sākuma stadijā elektriskais loks nav stabils, tas vairākkārtīgi iedegas un nodziest. Pie tam dzēšspole strādā, kā loka dzēšanas ierīce un tas atļauj neatslēgt bojāto fīderi. (17)

Gadījumā, ja zemesslēgums kļuvis stabils, ar noteiktu laika aizturi, ko var iestatīt reaktora regulatorā, tiek pieslēgts šuntējošs rezistors uz laika sprīdi no 1 līdz 3 sekundēm. Reaktora ciparu regulators padod komandu kontaktora ieslēgšanai un šuntējošais rezistors tiek pieslēgts pie dzēšspoles sekundāra tinuma ar spriegumu 500 V. Šuntējošā rezistora pieslēgšana uz 1 – 3 sekundēm rada aktīvo strāvas komponenti bojātā fīderī, kuras vērtība ir atkarīga no rezistora pretestības un var būt no 5 līdz 50 A. Šī strāvas vērtība ir pietiekoša selektīvai RA darbībai (zemesslēguma strāvas aizsardzības nostrādei). (17) Dzēšspoles normālā režīmā zemsprieguma šuntējošais rezistors ir atslēgts, līdz ar to tas neietekmē kompensācijas iestatījuma precizitāti. Rezistors tiek pieslēgts tikai uz laiku, kas ir nepieciešams zemesslēgumu aizsardzības darbībai (1 – 3 sek.). Rezistora termiskā noturība parasti ir no 6 līdz 60 sekundēm. Šuntējošā rezistora pieslēgšanu dzēšspoles regulators var veikt gan pastāvot stabilam zemesslēgumam, gan ar noteiktu laika aizturi (piemēram, pēc 5 sekundēm no intermitējošā zemesslēguma parādīšanās brīža). Ja zemesslēgums nav pārgājis stabilā režīmā, tad šuntējošā rezistora ieslēgšana palielina aktīvo komponenti bojājuma vietā un līdz ar to tas sekmē elektriskā loka stabilizēšanu (zemesslēguma procesa stabilizēšanu). Ja zemesslēgums ir pašlikvidējies ātrāk par 5 sekundēm, rezistors netiek pieslēgts un vīdsprieguma tīkls turpina strādāt normālā režīmā. (17)

Dzēšspoles pieslēgšanai neitrāles veidojoša transformatora jauda tiek izvēlēta vienāda vai lielāka par dzēšspoles jaudu ($S_t = Q_r$).

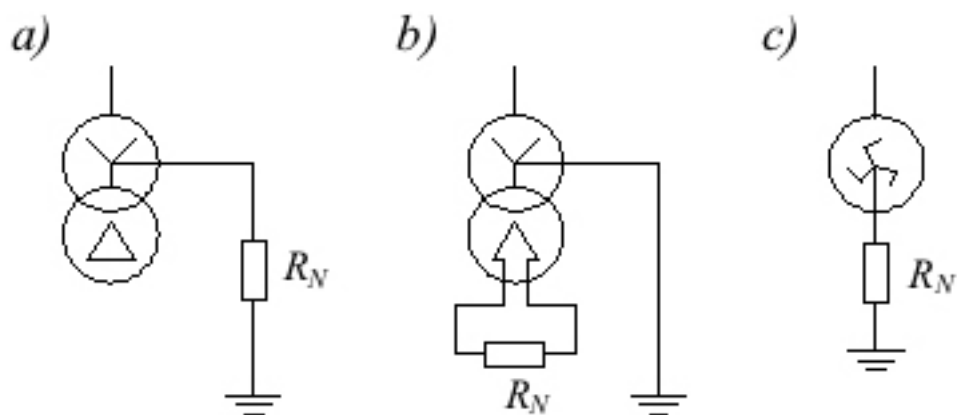
3.3. Tīkls ar zemomīgu rezistoru neitrālē

Neitrāles zemēšanas gadījumā ar zemomīgo rezistoru summārā strāva (rezistora aktīva strāva un tīkla kapacitatīvā strāva) bojājuma (zemesslēguma) vietā ievērojami pārsniedz 10 A. Vidējā sprieguma tīklā vienfāzes īsslēguma strāva šāda neitrāles darba režīmā sasniedz simtiem ampēru. Tā uz 110 kV apakšstacijas vīdsprieguma kopnēm var sasniegt līdz 1000 A un līdz ar to tā ir pietiekama, lai nodrošinātu zemesslēgumu aizsardzības darbību atslēgšanai bez laika kavējuma vai ar ļoti nelielu laika kavējumu. (17)

Neitrāles zemomīga zemēšana teorētiski var būt veikta tīklos ar jebkuru kapacitatīvo strāvu, pie tam aktīvai strāvai, ko izraisa zemomīga pretestība, jābūt lielākai par tīkla kapacitatīvo strāvu. Aktīvā strāva, ko izraisa zemomīga pretestība, ir vairāk kā 2 reizes lielāka par kapacitatīvo strāvu. (17)

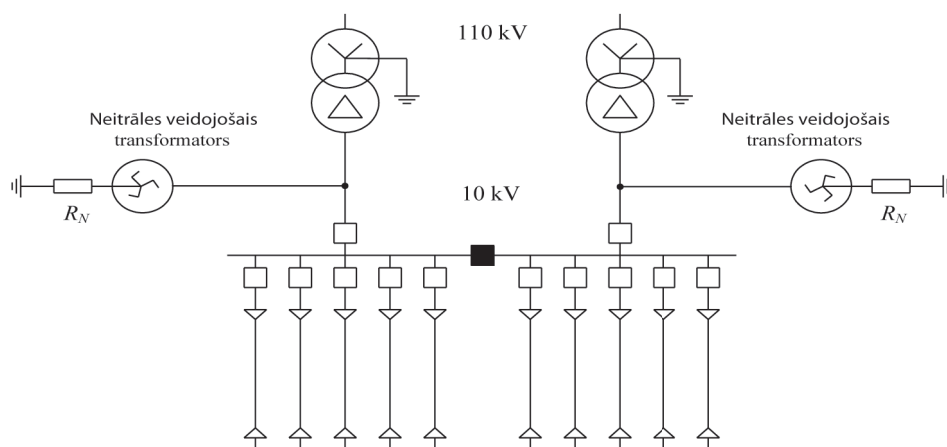
Tīklos ar zemomīgo neitrāli releju aizsardzībai zemesslēguma gadījumā ir jādarbojas uz fīdera atslēgšanu ar minimāli iespējamo laika aizturi. Vienfāzes īsslēgums zemomīgas neitrāles darba režīmā jāatslēdz tikpat ātri kā divfāzu vai trīsfāzu īsslēgums. (17)

3.8. attēlā parādīti zemomīga rezistora ieslēgšanas varianti vīdsprieguma tīklā. Pamatā zemomīgas neitrāles pieslēgšanai izmanto variantus a un c. Variants b ir pietiekami rets un tā realizācijai nepieciešams speciāls transformators. (17)



3.8. attēls. Zemomīga rezistora ieslēgšanas varianti tīklā.

Zemomīgs neitrāles veidotājs, kas sastāv no 3-tinumu neitrāles veidojoša transformatora (zig-zag tinumu slēgums) un zemēšanas rezistora R_N , kas tiek slēgts blokā ar 110 kV transformatoru (attēls 3.9.). Neitrāles veidojošo transformatoru un pretestību aprēķins tiek veikts ar nosacījumu, ka vienfāzes īsslēguma strāvai uz 110 kV apakšstacijas vidējā sprieguma kopnēm jābūt $I_k^{(1)} \approx 1000 \text{ A}$. Zemomīgās neitrāles kopējā nullsecības pretestība ir vienāda ar $Z_{0 \text{ rezult.}} \approx 18 \Omega$. (20)



3.9. attēls. Tipveida divu transformatoru apakšstacijas shēma ar zemomīgu rezistoru neitrālē vidējā sprieguma pusē (10 kV).

Plānojot un realizējot neitrāles zemēšanu ar zemomīgo rezistoru vidējā sprieguma tīklos, ir jānosaka pieļaujamā vienfāzes zemesslēguma strāva. Izvēloties neitrāles veidotāja summāro nullsecības pretestību un reizē ar to nosakot zemesslēguma strāvas maksimālo vērtību, ir jāievēro dažas savstarpēji pretrunīgas prasības: (20)

1. aizsardzības ierīču drošai darbībai un jūtības nodrošināšanai ir nepieciešama pēc iespējas lielāka zemesslēguma strāva;
2. lai ierobežotu un mazinātu soļa un pieskarspriegumu un vienlaicīgi arī apdraudējumu cilvēku drošībai, kā arī mazinātu negatīvo ietekmi uz tehnoloģiskām iekārtām (datoriem un tml.), vēlams pēc iespējas mazāka zemesslēguma strāva.

Ja neitrālē slēgts zemomīgs rezistors R_N , tad pārejas procesa pārspriegumu maksimālās vērtības ir mazākas, salīdzinot ar pārspriegumiem, ja neitrālē slēgta tikai zemomīga induktīvā pretestība.

Vienfāzes īsslēguma (zemesslēguma) strāvas aprēķins. (20)

Sprieguma pazemināšanās pēc zemesslēguma atslēgšanas var notikt tikai tad, ja uz 110 kV apakšstacijas vidējā sprieguma kopnēm $I_k^{(1)} > I_{CS}$, kur I_{CS} - tīkla summārā kapacitatīvā strāva.

Vienfāzes īsslēguma (zemesslēguma) strāvu 10 kV kabeļu tīklā var aprēķināt, izmantojot formulu:

$$I_k^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_n}{2Z_{IT} + Z_0 + 3R_N = 3R_F = l_k(2Z_{lk} + Z_{ok})}$$

$I_k^{(1)}$ – vienfāzes zemes īsslēguma strāva, A

U_n – sistēmas spriegums, V

Z_{IT} – spēka transformatora tiešās secības pretestība, Ω

Z_0 – neitrāles veidojoša transformatora nullsecības pretestība, Ω

R_N – neitrālē slēgtā rezistora pretestība, Ω

R_F – bojājuma vietas pretestība, Ω

l_k – kabeļa līnijas garums, km

Z_{Ik} – kabeļu līnijas tiešās secības īpatnējā pretestība, Ω/km

Z_{Ok} – kabeļu līnijas nullsecības īpatnējā pretestība, Ω/km

Aprēķinā jaudas transformatora nullsecības pretestību var neievērot.

Zemesslēguma strāvu, atkarībā no bojājuma vietas un attāluma, nosaka kabeļu līnijas nullsecības pretestība un pretestība bojājuma vietā. Tehniskajā literatūrā ir pieņemts, ka Z_{Ok} vērtības nevar noteikt aprēķinu ceļā, jo atkarībā no kabeļu guldīšanas veida, var rasties neprognozējama apkārtnes un citu faktoru ietekme. Tāpēc jāorientējas uz mērījumiem un tīkla aprēķinam jālieto tikai vispārējās vērtības. Metāliska zemesslēguma gadījumā bojājuma vietas pretestība $R_F = 0$.

Neitrāles zemēšanu ar zemomīgo rezistoru, atslēdzot bojātā tīkla posmu, lietderīgi izmantot tajos vīdsprieguma tīklos, kur ir nodrošināta nepieciešamā sadales tīklu rezervēšana un automatizācijas pakāpe. Vīdsprieguma kabeļu tīklos, kas ir ar lielām rezervēšanas iespējām, tehniski un ekonomiski lietderīgi pāriet no kompensētas neitrāles darba režīma uz zemomīgu neitrāles režīmu ar bojāta pieslēguma atslēgšanu bez laika kavējuma. (21)

Sagatavojot tehniski – ekonomisko pamatojumu un izvērtējot zemomīgas neitrāles darba režīma lietderību 6 – 20 kV tīklos, ir jāievēro četri pamatnosacījumi: (21)

1. Vienfāzu īsslēguma strāvas izmaiņas zemomīgas neitrāles gadījumā 6 – 20 kV tīklos:

- palielinās īsslēguma strāvas;
- notiekot vienfāzes īsslēgumam, 1,5 – 2,0 reizes samazinās pārspriegums;
- zemesslēgumu gadījumā ar intermitējošu loku no dažām stundām līdz dažām sekundēm samazinās pārspriegums un līnijas sprieguma iedarbības ilgums pastāvīgu zemesslēgumu gadījumā.

2. Palielinās vīdējā sprieguma tīkla kabeļu izolācijas kalpošanas laiks. Zemomīgas neitrāles gadījumā, notiekot zemesslēgumam, bojāto pievienojumu atslēdz. Līdz ar to samazinās pārspriegumu iedarbības ilgums uz izolāciju, kā arī samazinās izolācijas caursišanas varbūtība nebojātos pievienojumos un vienfāzes īsslēgumu gadījumu skaits.

3. Būs nepieciešamas papildus izmaksas:

- tīkla projektēšanai (pārejai uz zemomīgo neitrāli);
- papildus iekārtu iegādes (rezistors, neitrāles veidojošs transformators, releji u. c.);
- papildus ligzdas montāža vīdsprieguma sadales ietaisē rezistora ieslēgšanai;
- papildus releju aizsardzības montāža un ieregulēšana.

4. Elektrodrošība.

Momentāna vīdsprieguma līnijas atslēgšana zemesslēguma gadījumā samazinās

elektriskās strāvas trieciena iespējamību cilvēkiem un dzīvniekiem, kuri varētu atrasties bojājuma vietas tuvumā.

Kontroljautājumi 3. nodaļai.

1. Cik veidu un kādi neitrāles darba režīmi vidēja sprieguma tīklos tiek izmantoti Latvijas energosistēmā?
2. No cik ampēriem zemesslēguma strāvai jābūt kompensētai 6 kV, 10 kV un 20 kV tīklospēc LEK 002?
3. Kāds parametrs ietekmē zemesslēguma strāvas lielumu: kapacitāte attiecībā pret zemi C_0 vai starpfāžu kapacitāte C_m ?
4. Kāpēc jākompensē lielās zemesslēguma strāvas?
5. Vai tīklos ar kompensētu neitrāles darba režīmu vienfāzes zemesslēguma gadījumā ir obligāti jāatslēdz bojātais posms?
6. Cik liela ir induktīva strāva I_L zemesslēguma gadījumā, ja dzēšspole noskaņota rezonanses režīmā?
7. Kāpēc zemesslēgumu gadījumā tīklos ar kompensētu neitrāli uz īsu laika sprīdi paralēli dzēšspolei ieslēdz rezistoru?
8. Kādos tīklos ir lietderīgi lietot zemomīgo neitrāles režīmu?
9. Vai tīklos ar zemomīgo neitrāles darba režīmu zemesslēguma gadījumā ir obligāti jāatslēdz bojātais posms?

4. Dispečervadības sistēmas (DVS)

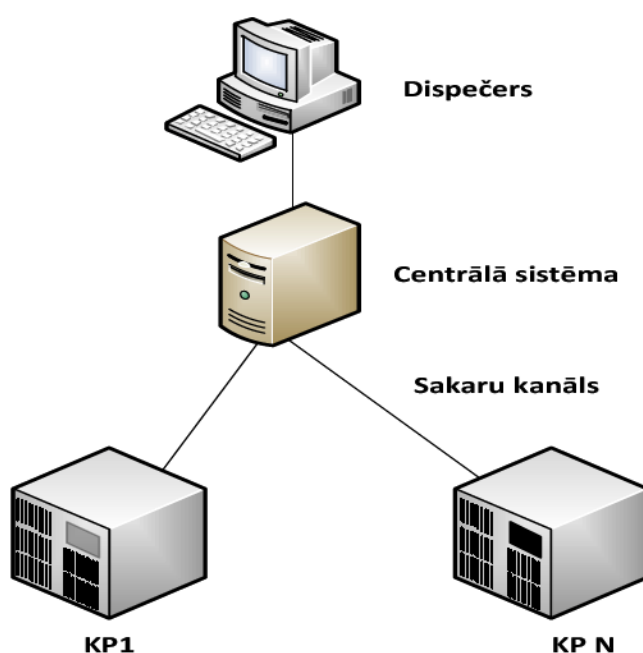
Par DVS (SCADA) pirmsākumiem Eiropā un Amerikā tiek uzskatīti pagājušā gadsimta 50 - 60 gadi. Lai attālināti uzraudzītu rūpnīcas atsevišķu objektu darbību, tika izmantotas vienkāršas ievades un izvades ierīces. Šāda sistēma ievāca datus no dažādiem sensoriem, devējiem rūpnīcas objektos un, izmantojot tajā laikā esošās sakaru iespējas, nosūtīja šos datus uz centrālo datoru, kas kontrolēja, bet vēlāk arī vadīja procesus rūpnīcās. Šobrīd DVS tiek izstrādātas un ieviestas uzņēmumos, izmantojot jaunākās tehnoloģijas (mikroprocesorus, bezvadu tehnoloģijas, operatīvo datu pārraides tīklus un citus risinājumus), ar uzlabotu augstas veiktspējas programmatūru. Jaunās dispečervadības sistēmas uzņēmumos ir uzticamas un stabilas, sekmīgi nodrošina tehnoloģisko procesu vadību un kontroli, palielinot uzņēmumu produktivitāti un efektivitāti.

Latvijā DVS pirmsākumi un tālāka attīstība saistīta ar DVS izmantošanu Latvenergo energoobjektos. Pirmsākumā, pagājušā gadsimta 70.-80. gados tika izmantotas PSRS ražotās lokālas iekārtas „KUST”, „TM-800”, pakāpniski pārejot uz centralizētām DVS iekārtām „TM-120”, „Granīts” un citām. 90. gados, Latvijai atgūstot valstiskumu un attīstoties vietējiem ražotajiem, Latvijas firmas SIA „Arcus Elektronika”, ZRA „Ellat” uzsāka DVS iekārtu ražošanu un to uzstādīšanu Latvenergo energoobjektos. Lielākais projekts DVS jomā, kas tika realizēts 90. gados Latvenergo, bija DVS modernizācija 330

kV, 110 kV apakšstacijās un dispečeru centros, izmantojot amerikāņu firmas „GE Harris” un „Arcus Elektronika” iekārtas. Šajā nodaļā pamatā tiks apskatītas dispečervadības sistēmas un tās komponentes, kas tiek izmantotas AS „Latvenergo”, AS „Sadales tīkls”, AS „Latvijas elektriskie tīkli” objektos un Dispečeru centros (turpmāk tekstā – Latvenergo), kā arī sniegta informācija par minēto iekārtu apkalpošanu.

4.1. Dispečervadības sistēmas sastāvdaļas.

Dispečervadības sistēma (DVS) ir hierarhiska sistēma, kas paredzēta informācijas apmaiņai starp kontrolējamo objektu un dažādu līmeņu informācijas lietotājiem. Vienkāršas dispečervadības sistēmas shematiskais attēlojums redzams attēlā 4.1.



4.1.attēls. Vienkāršas dispečervadības sistēmas shematiskais attēlojums, kur KP1- 1.kontrolpunkta aparatūra, KP N – N-tā kontrolpunkta aparatūra.

4.1.1. Kontrolpunkta aparatūra (KP)

Aparatūras daļu, kas uzstādīta kontrolpunktā (elektrostacijā, apakšstacijā, sadales punktā un tml. objektos) un savāc informāciju no objektā izvietotās releju aizsardzības, automātikas, apsardzes, ugunsdzēsības un citām sistēmām, kas nodrošinātas ar attālinātu saiti ar datoru (serveri), izmantojot sakaru līdzekļus, saīsināti sauc par kontrolpunkta aparatūru. Tehniskajā dokumentācijā saīsināti apzīmē - KP Tehniskajā literatūrā angļu valoda to saīsināti apzīmē RTU, kas ir saīsinājums no angļu valodas (remote terminal unit). Latvenergo energoobjektos uzstādītā kontrolpunkta aparatūra pamatā ir ražota Latvijas uzņēmumos „Arcus Elektronika” un ELLAT. Pēc Latvijas pievienošanās Eiropas Savienībai Latvenergo objektos tiek uzstādīta arī citu Eiropas valstu (Somijas

„Netcontrol”, Zviedrijas „ABB”, Vācijas „Siemens” u. c.) KP aparātūra.

Kontrolpunktu aparātūra sastāv no:

- 1) telemehānikas iekārtas (ARCEL KPL, ELLAT KP, Netcontrol, Siemens u. c.)
- 2) rezervētās barošanas bloka (UPS)

Izmantojot kontrolpunkta aparāturu (attēls 4.2) iespējams attālināti objektā veikt sekojošas darbības :

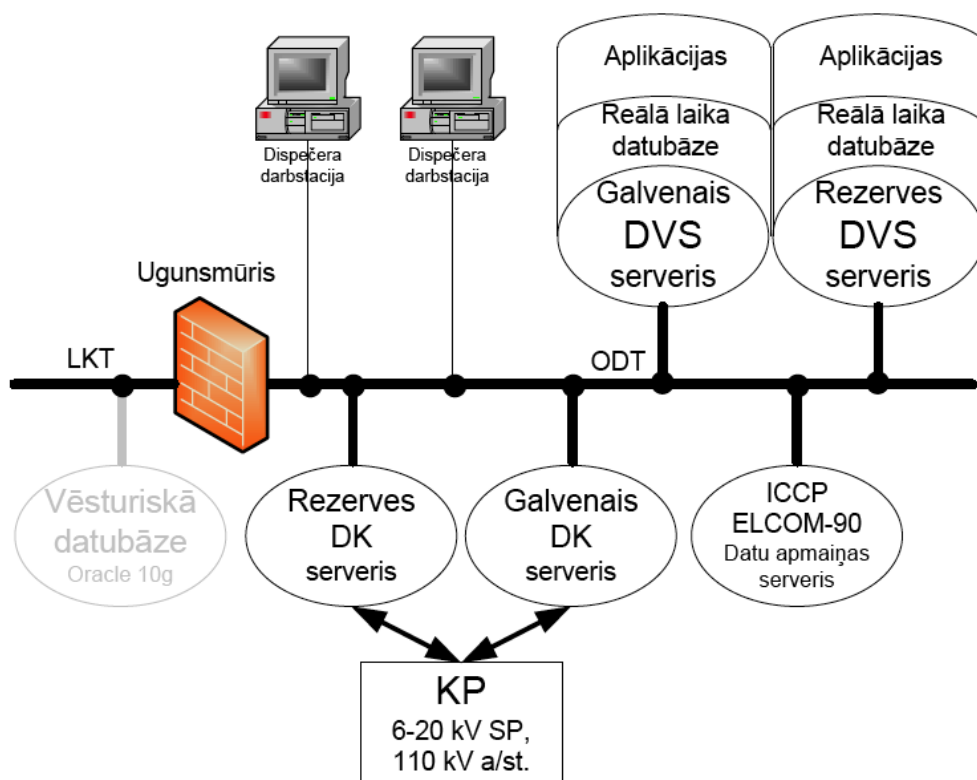
- nolasīt strāvas, spriegumus, jaudas (telemērījumus), saīsināti TM);
- izdarīt vadību ar objekta elektroiekārtu, saīsināti TV;
- nolasīt objektā energoiekārtas operatīvo stāvokli (telesignalizācija), saīsināti TS;
- regulēt spriegumu jaudas transformatoriem;
- nolasīt enerģijas skaitītāju rādījumus;
- veikt citas funkcijas.



4.2.attēls. Kontrolpunkta aparātūra

4.1.2. Centrālā sistēma

Iekārtas daļu, ko uzstāda centros dažādu līmeņu operatoriem, dispečeriem, sauc par Centrālo sistēmu (attēls 4.3.)



4.3.attēls. Centrālā sistēma

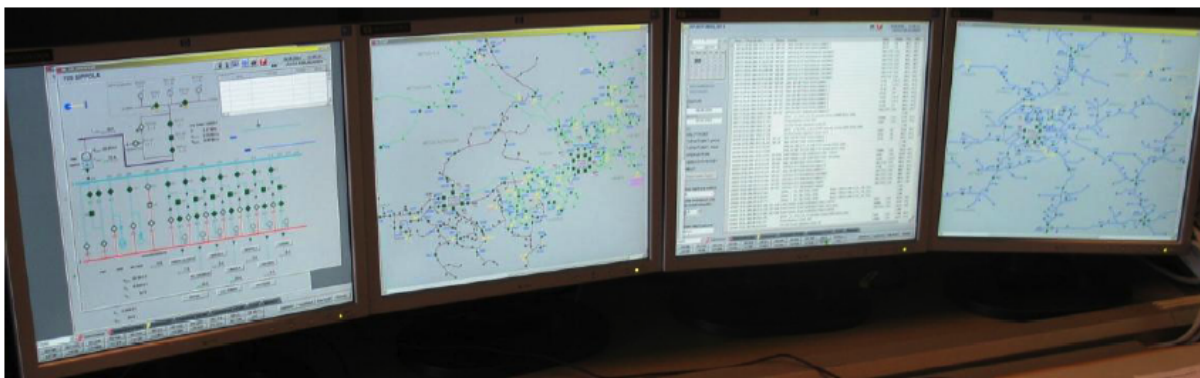
Centrālā sistēma sastāv no:

- Datora un servera(iem) ar iestallētu speciālu programmatūru („TMIX”, „Netcon 3000”, „Harris” un tml.), kas aprīkoti no 1 līdz 4 monitoriem ar augstu izšķirtspēju.
- Kanālu kontroliera (KK) ar iebūvētu programmatūru, ar kura palīdzību informācija no attālinātiem energoobjektiem, izmantojot dažādus sakaru līdzekļus, nodod uz DVS datoru (serveri). Kanālu kontrolieris strādā ar sakaru kanāliem pieslēgto aparatūru, veic datu uztveršanu un pārraidi, to pirmapstrādi un nodrošina datu apmaiņu ar datoru (serveri).
- Bezpārtraukuma barošanas sistēmas (UPS), kas nodrošina DVS kvalitatīvu darbību gadījumos, kad tiek pārtraukta DVS datora (servera) elektroapgāde.

Centrālā sistēma strādā reālajā laikā un nodrošina dispečeram šādas iespējas:

- telesignalizācijas (TS) automātisku saņemšanu un kontroli,
- televadības (TV) izpildi pēc pieprasījuma un tās izpildes kontroli,
- telemērījumu (TM) automātisku saņemšanu un kontroli.

Datoram (serverim) pieslēgtos monitora ekrānos tiek attēlotas KP vienlīnijas shēmas, reģistrētie notikumi un cita dispečera un operatora darbam nepieciešamā informācija (attēls 4.4.).



4.4. attēls. Monitori (4 gab.) dispečera darba vietā

4.1.3. Sakaru nodrošināšana ar DVS objektiem

Sakarus ar attālinātiem energoobjektiem Latvenergo nodrošina, izmantojot optiskos sakarus, radiosakarus, kā arī citu sakaru operatoru („Lattelecom”, „LMT”, „TELE2” u.c.) sakaru līdzekļus. Datu apmaiņa ar 330 kV, 110 kV apakšstacijām notiek, izmantojot optisko kabeli, kas ir iemontēts 330 kV, 110 kV līniju ekrāntrosē. Sakarus ar videsprieguma sadales un komutācijas punktiem nodrošina, izmantojot radio sakarus. Ar mazāk svarīgiem energoobjektiem informācijas apmaiņa tiek nodrošināta, izmantojot trešās puses sakaru operatoru sakaru līdzekļus.

Latvenergo optiskajos sakaros notiek pakāpniska pāreja uz IP pakešu tīkla tehnoloģijas izmantošanu. IP datu pārraides tīkls ļauj pārraidīt informāciju pēc principa punkts - daudzpunkts, kas ir svarīgi, izmantojot vairākas centrālās serveru sistēmas. Tāpat šāds tīkls ļauj izmantot tā saucamo „loka principu”. Optiskā sakaru kanāla bojājuma gadījumā datu apmaiņa automātiski tiek nodrošināta pa loka otru pusi. DVS datu apmaiņai Latvenergo tiek izmantots fiziski nodalīts IP tīkls - operatīvo datu tīkls, ko saīsināti apzīmē kā ODT. Nodalīšana no pārējiem datu tīkliem tiek panākta ar atsevišķu krāsu optiskajā dzīslā un ugunsūmiem nepieciešamajās pārejas vietās.

Energoobjektos, kur optika nav pieejama un tās pievilkšana ir saistīta ar lielām izmaksām, datu apmaiņa tiek nodrošināta, izmantojot radio tīklu un radio modemus. Datu apmaiņu pa radio tīklu ietekmē dažādi apstākļi: attālums līdz objektam, virsmas reljefs, apbūve un radio traucējumi. Līdz ar to datu pārraide pa radio kanālu ir nestabilāka, kā izmantojot optiskos kabeļus. Radio datu pārraides reālais attālums nav lielāks par 40km, bet tas krasi samazinās šķēršļotā apvidū. Attālumu var palielināt, izmantojot datu retranslāciju. Šāda iespēja paredzēta jaunākās paaudzes radio modemos. Tajos iespējams retranslēēt datus caur kādu citu energoobjektu vai citu atsevišķu retranslatoru.

Pēdējā laikā, attīstoties sakaru pakalpojumiem, Latvenergo mazāk svarīgos objektos izmanto publisko mobilo sakaru operatoru pakalpojumus. Šajā gadījumā tiek izmantots GPRS datu pārraides kanāls. Šāds risinājums ir izdevīgs vietās ar ļoti nelīdzenu reljefu

un nomaļās vietās.

4.2. Lokālās un centralizētās dispečervadības sistēmas

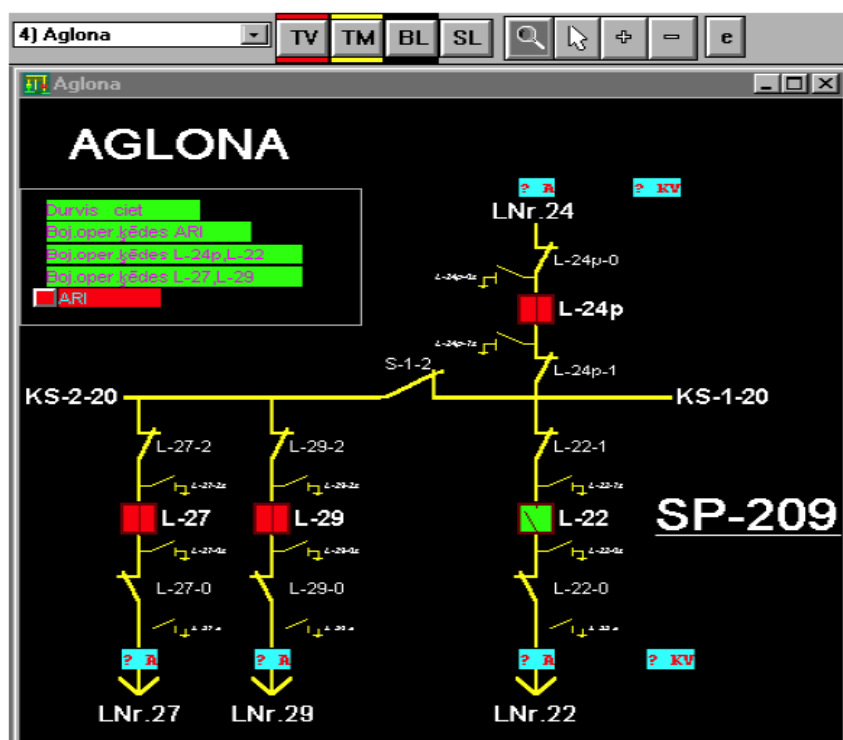
Dispečervadības sistēmas iedala lokālās un centralizētās. Abas šīs sistēmas izmanto Latvijas uzņēmumos. Dalījumu nosaka vadāmais objekts un tā parametri. Kaut gan starp lokālajām un centralizētajām sistēmām nav stingri noteiktas robežas, var izdalīt pamatfunkcijas, kuras attiecas uz lokālajām un centrālajām vadības sistēmām. Piemēram, parametru vadība vienas stacijas ietvaros attiecas uz lokālo vadības sistēmu. Šajā gadījumā vadāmie parametri ir ģeneratoru spriegums, aktīvā un reaktīvā jauda. Centralizēti vadāmie parametri ir energosistēmas frekvence (Hz), sistēmas kopējā jauda, starpsistēmu jaudas plūsmas, spriegumi 330, 110 kV tīklā. Latvijā centralizētās dispečervadības sistēmas izmanto ne tikai Latvenergo un tās meitas uzņēmumi, bet arī dzelzceļa nozarē, Rīgas pilsētas satiksmē, pilsētu ielu apgaismes elektriskā tīkla vadībai, un tamlīdzīgos objektos. Lokālās vadības sistēmas izmanto lokālajās katlu mājās apkures tehnoloģisko procesu vadībai, sūkņu vadībai ūdens apgādes uzņēmumos, lokālajos enerģētikas objektos (mazas jaudas HES, TEC un tml.).

4.3. DVS iekārtu savietojamība

DVS attīstības sākumā dažādu ražotāju DVS bija nesaderīgas. Katrs no DVS ražotājiem sadarbībai starp kontrolpunkta un centrālo iekārtu lietoja savu datu pārraides protokolu. Tālākā DVS paplašināšana bija iespējama, tikai sadarbojoties ar to pašu ražotāju, ar kuru tā bija iesākta. Serveri nesadarbojās caur datortīklu ar parastiem standarta datoriem. Mūsdienās DVS ražotāji savu iekārtu savienojumus un saziņas protokolus ir standartizējuši, kas padara savietojamas dažādu ražotāju DVS komponentes. Latvijas energosistēmā ir adaptēti un tiek izmantoti Eiropas Savienības standarta protokoli IEC60870-5-101, IEC 60870-5-104. DVS serveri var sazināties ar energoobjektiem ar šiem standarta protokoliem. Tas ļauj dispečeru darba vietas pieslēgt serveriem pa LAN, WAN vai Wireless tīklu, paverot plašas iespējas integrēt DVS esošā biroja datortīklā un pieslēgties tai ar jebkuru datoru. Drošības apsvērumu dēļ Latvenergo DVS tīkls ir nodalīts no uzņēmuma datortīkla. Datortīklā ir integrēta tikai Ethernet View funkcija, kas ļauj tiem darbiniekiem, kuriem ir piešķirtas speciālas piekļuves tiesības, tiešsaistē no sava darba datora apskatīt DVS sniegtos datus.

4.4. SIA „Arcus Elektronika ” DVS „Telemiks”

SIA „Arcus Elektronika” DVS „Telemiks” bija paredzēta lietošanai nelielos elektrisko tīklu dispečeru centros, apakšstacijas vadības sistēmas darba vietā (attēls 4.5.) siltumtīklu vadīšanai, ielu apgaismojuma vadīšanai u.c. objektos.



4.5.attēls. „Telemiks” monitora ekrāns ar 20 kV sadales punkta vienlīnijas shēmu.

Programmatūra bija pielāgojama lietošanai dažādās nozarēs, kur ir nepieciešama vienkārša un ekonomiska vadības sistēma. Tā darbojas, izmantojot personālo datoru un operētājsistēmas Microsoft Windows 2000 un Microsoft Windows XP Professional. DVS „Telemiks” sākotnēji tika komplektēta ar kanālu kontrolieri ARCKK-01A06, kas deva iespēju izmantot šādus datu apmaiņas protokolus:

- IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-103,
- SPA-BUS, MODBUS RTU.

DVS „Telemiks” ražošana SIA „Arcus Elektronika” tika pārtraukta un, sākot ar 2006. gadu, tās vietā tika uzsākta „Telemiks-2” ražošana.

4.5. SIA „Arcus Elektronika ” DVS „Telemiks-2”

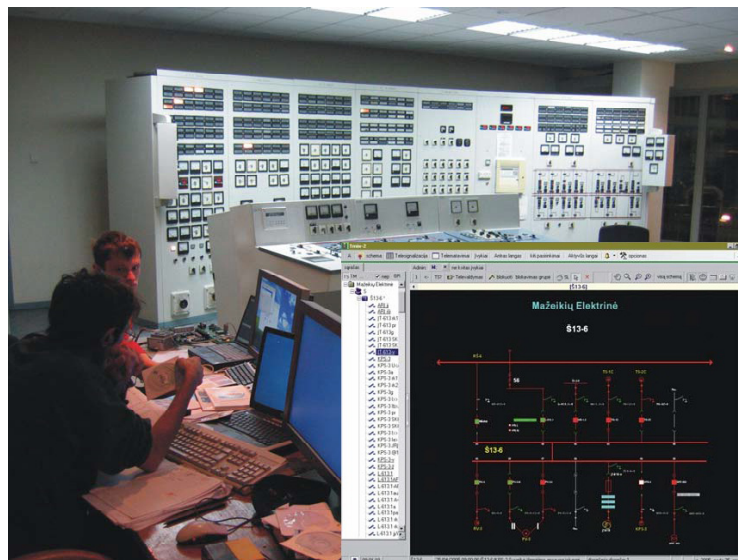
Dispečervadības sistēma „Telemiks-2” bija paredzēta lietošanai sadales elektrisko tīklu dispečeru centros, elektrostaciju vadības pultīs un citos objektos, kur nepieciešams veikt šādas funkcijas:

- vienlaicīgi strādāt ar vairākām dispečeru darbstacijām vairākās vietās;
- vienlaicīgi strādāt ar notikumu un trauksmes signālu informāciju no objektiem;
- vienlaicīgi strādāt ar vairākiem datu apmaiņas protokoliem;
- izmantot klienta - servera arhitektūru.

Sistēma darbojas klienta - servera arhitektūrā un tai bija iespējams uzstādīt vairākus, savstarpēji rezervētus sistēmas serverus, kas darbojas paralēli, nodrošinot augstu sistēmas

pieejamību (attēls 4.6.).

Sistēma ir paredzēta darbam ar kanālu kontrolieri ARCKK-01A06, kā arī ar „Arcus Elektronika” un citu ražotāju kontrolpunktu aparāturu, izmantojot standarta datu apmaiņas protokolus IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-103 un SIA „Arcus Elektronika” protokolus SPA-BUS, MODBUS RTU.



4.6.attēls. DVS “Telemiks-2” Lietuvā, Mažeikų elektrostacijā.

4.6. Somijas firmas „Netcontrol OY” dispečervadības sistēma „Netcon 3000”

Somijas firmas „Netcontrol” dispečervadības sistēma „Netcon 3000” ir modulāra sistēma ar atvērtu arhitektūru. To Eiropas Valstīs (Somijā, Zviedrijā, Norvēģijā, un c.) sekmīgi izmantoto ražošanas, pārvades, sadales procesu vadībai. Tā paredzēta lietošanai attālinātu objektu vadībai elektrisko tīklu dispečeru centros, elektrostacijās un citos objektos, kur nepieciešams strādāt vairākos līmeņos un veikt šādus uzdevumus:

- vienlaicīgi strādāt ar vairākām dispečeru darbstacijām vairākās vietās;
- vienlaicīgi strādāt ar objektu notikumu un trauksmes signālu informāciju;
- izmantot klienta - servera arhitektūru;
- vienlaicīgi strādāt ar dažādiem Eiropas Savienībā izmantotiem datu apmaiņas protokoliem;
- nodrošināt sadarbību ar trešās puses programmām.

Sistēma balstīta uz reālā laika DVS datu bāzi. Tā izvietota uz viena vai vairākiem serveriem. Sistēma datu plūsmu organizē automātiski, informējot operatīvo personālu par prioritātēm bojājumu novēršanā (attēls 4.7.). Tas mazina iespēju personālam kļūdīties. DVS „Netcon 3000” ir izveidota ērta signālu filtrēšana, kā arī sistēmu var papildināt ar jauniem objektiem, nepārtraucot operatora un dispečera darbu. Sistēma ir elastīga, tā neierobežo dispečera darba vietas atrašanos. Palielinoties datu un objektu apjomam,

sistēmu var ērti paplašināt.

Sistēma ir droša, ar šifrēta datu savienojuma palīdzību DVS informācijai caur datortīklu var piekļūt attālinātie lietotāji un sistēmas administratori no Netcontrol OY biroja Somijā.



4.7 attēls. Dispečeru centrs Somijā ar uzstādīto DVS „Netcon 3000”.

4.7. Dispečervadības sistēmas iekārtu ekspluatācija.

Saskaņā ar energostandartu LEK 002 (3), kas ir obligāts AS Latvenergo un tās meitas uzņēmumos, bet citos uzņēmumos tas tiek rekomendēts, energoietais ir jāapgādā ar telekomunikāciju līdzekļiem un dispečervadības sistēmu (DVS), kurai jānodrošina objektu nepārtraukta kontrole un vadība visos darba režīmos.

DVS nepieciešamo apjomu un izpildes veidu nosaka Latvenergo un tās meitas uzņēmumi tehniskajās un operatīvajās prasībās. Mērpārveidotājus (strāvas, sprieguma, jaudas) strāvmaiņu un spriegummaiņu sekundārās ķēdēs apkalpo un pārbauda apmācīts personāls (3).

Sakariem, tajā skaitā operatīvo datu tīklu (ODT) tehniskajiem parametriem, jābūt ne zemākiem par valstī noteiktajām normatīvajām prasībām telekomunikāciju jomā. Energosistēmas telefona tīkla tehniskajiem parametriem ir jāatbilst publiskā telefona tīkla normām. Tīkla konfigurācijai jānodrošina energosistēmas prasības, ievērojot darba īpatnības (3).

Telekomunikāciju iekārtām, tajā skaitā DVS, jābūt aizsargātām pret pārspriegumiem, tām jābūt izveidotām tā, lai novērstu traucējumus no inducētiem spriegumiem. Šim nolūkam DVS ierīcēm jānodrošina ražotāja prasībām atbilstošs zemējums (3).

Energosistēmas radiostaciju darba frekvenču lietošanas atļaujas piešķir atbilstošā valsts institūcija, pamatojoties uz energosistēmas struktūrvienības pieprasījumu (3).

DVS un telekomunikāciju iekārtu tehnisko un operatīvo apkalpošanu veic Latvenergo, tās meitas uzņēmumu struktūrvienības vai līgumorganizācijas saskaņā ar noslēgtajiem apkalpošanas līgumiem. Minētās struktūrvienības atbild par tehniskās ekspluatācijas noteikumu ievērošanu telekomunikāciju ekspluatācijā, par priekšlikumu izstrādāšanu energoobjektu projektēšanā un esošo iekārtu rekonstrukcijā un modernizēšanā (3).

Telekomunikāciju iekārtas jānodrošina ar elektroapgādi saskaņā ar aparātūras tehniskajām prasībām. Iekārtas, kuras nodrošina objektu operatīvo vadību vai kontroli, jānodrošina ar rezerves elektroapgādi no neatkarīga avota (3).

Savienoto mezglu pārbaudēs jāveic pasākumi, kas nodrošina iekārtu un personāla aizsardzību mērījumu laikā no pārbaudes spriegumiem un darba režīma izmaiņām. Pārbaūžu termiņus un apjomu nosaka iekārtas tehniskajā dokumentācijā noteiktās prasības (3).

Lai atslēgtu atsevišķu pievienojumu tālvadības un telesignalizācijas ķēdes, elektrostacijās un apakšstacijās jābūt speciāliem slēdžiem vai atslēgšanas ierīcēm. Telekomunikāciju un telemehānikas paneļu un iekārtu priekšpusē un aizmugurē jābūt uzrakstiem ar atbilstošiem operatīvajiem apzīmējumiem. Telemehānikas iekārtu pievienojumu spailēm jābūt apzīmētām saskaņā ar shēmu. Elektroietaisēm jānodrošina vietējā rokas vadība, lai varētu nodrošināt to atslēgšanu DVS atteikuma gadījumā (3).

Telekomunikāciju aparātūra jānodrošina ar ekspluatācijas tehnisko un operatīvo dokumentāciju. Dokumentācijas apjomu un izvietojumu nosaka, ievērojot aparātūras uzstādīšanas vietas un ekspluatācijas īpatnības. To sastāda tās struktūrvienības personāls, kas apkalpo telekomunikāciju aparātūru, un apstiprina tehniskais vadītājs vai atbilstoši normatīviem dokumentiem pilnvarota persona (3).

DVS iekārtām jāveic pieņemšanas un regulārās pārbaudes saskaņā ar 2.tabulu. Iekārtas kārtējā pārbaudē ietilpst iekārtas fiziskā stāvokļa novērtēšana, dokumentācijas izskatīšana, tās sakārtošana, datu pierakstu analīze vēsturiskajā datu bāzē, nepieciešamo labojumu izdarīšana iekārtas konfigurācijā, mērījumu atbilstības pārbaude un televadības komandu pārbaude DVS iekārtai (3).

DVS iekārtu pārbaudes veids	Periodiskums	Speciāli norādījumi
Pieņemšanas pārbaude	Pēc iekārtas montāžas un ieregulēšanas pabeigšanas	
Kompleksā pārbaude	Pirms iekārtas pieņemšanas ekspluatācijā	Atbilstoši kompleksās pārbaudes programmai
Kārtējā pārbaude	Pēc 6 gadiem vai tehniskā vadītāja noteiktajā periodā	Pieļaujamais termiņa pagarinājums – 1 gads
Ārpuskārtas pārbaude	Pēc vajadzības	Nosaka tehniskais vadītājs

2.tabula. DVS pārbaudes veidi un periodiskums.

Kontroljautājumi par 4. nodaļu.

1. Kādiem mērķiem kalpo DVS?
2. Kādas ir DVS pamatsastāvdaļas?
3. Kādas ir DVS centrālās sistēmas sastāvdaļas?
4. Kādus standartprotokolus izmanto DVS iekārtu savienošanai?
5. Kas veic DVS apkalpošanu Latvenergo?
6. Cik bieži Latvenergo ir jāveic DVS kārtējā pārbaude?

5. Mērmaiņi.

Šajā nodaļā galvenokārt tiks izklāstīta informācija par vidējā sprieguma 6 – 20kV mērmaiņu nepieciešamību energosistēmā, to precizitātes un izolācijas pārbaudēm.

Mērmaiņi tiek iedalīti strāvu transformējošās iekārtās jeb strāvmaiņos un sprieguma transformējošās iekārtās jeb spriegummaiņos. Mērmaiņi var būt gan strāvu un spriegumu pazeminošie, gan paaugstinošie. Energosistēmā galvenokārt izmanto strāvas un sprieguma pazeminošus mērmaiņus (strāvmaiņus un spriegummaiņus). Mērmaiņi energosistēmā nepieciešami, lai, tos savienojot ar releju aizsardzības un automātikas iekārtām, kontrolētu fizikālos procesus, kā arī veiktu elektroenerģijas uzskaiti un kontrolētu sprieguma kvalitāti. Spriegummaiņu nominālais sekundārais spriegums ir 100V, bet strāvmaiņu nominālā sekundārā strāva 5A, 1A vai 0,2A. Mērmaiņus izmanto, lai atslēgtu automātikas, releju aizsardzības vai mērķēdes no augstsprieguma vai lai pārveidotu (samazinātu) strāvu un spriegumu lielumus līdz mērīšanai ērtam standartizētam lielumam.

Katrai no šīm funkcijām nepieciešami atbilstošas izolācijas, jaudas, konstrukcijas un precizitātes mērmaiņi. Viens no svarīgākajiem mērmaiņu izvēles kritērijiem ir nominālais sprieguma līmenis un izolācijas līmenis. Izolācijas līmenis tiek uzrādīts kā nominālais spriegums. Izolācijas līmenis nosaka, kāda ir ilgstoši pieļaujamā sprieguma iedarbība uz mērmaini. Mērmaiņa jauda ir sekundāro tinumu nominālās jaudas un precizitātes klases kopums. Iepriekš minēto parametru izvēle ir ļoti svarīga, lai nodrošinātu un veiktu uzdotās funkcijas. Piemēram, elektroenerģijas uzskaitē, kur ir nepieciešama augsta precizitāte, vienmēr izmanto tinumus ar klasi, kas nav zemāka par 0,5. Visām aizsardzības un automātikas ķēdēm galvenokārt izmanto mērmaiņus ar precizitātes klasi 10. Konstrukcijas izvēle mērmaiņiem, pirmkārt, ir saistīta ar to fizisko novietošanu elektrotīklos (novietošana ārēta gaisvadu līnijās un konstrukcijās, vai to novietošana slēgtās telpās). Līdz ar to mērmaiņus iedala ārēta un iekšēja. Atsevišķi tiek izdalīti toroidālie, kurus konstruktīvi novieto uz kabeļu līnijām. Izvēloties ārēta un iekšēja mērmaiņus, ir svarīga to vijumu izolācijas vide. Vecākie mērmaiņi energosistēmā ir ar eļļas izolācijas vidi, bet jaunākie - no epoksīdsveķu materiālu kausējuma.

Kā perspektīvākie mērmaiņi energosistēmā tiek uzskatīti kombinētās Rogovska spoles ar strāvas un sprieguma devējiem. Tām ir lineārs mērīšanas diapazons ar lielām strāvas amplitūdām. Tiem nav piesātinājuma strāvas rašanās efekta un linearitāti neietekmē

temperatūra. Tos var kompakti novietot iekārtās. Tam nolūkam izstrādāti standartizēti savienojumi no sensoriem uz iekārtām. Šobrīd vienīgāto nepilnība – trūkst normatīvo dokumentu bāzes, lai nodrošinātu to plašāku pielietojumu RAA iekārtās.

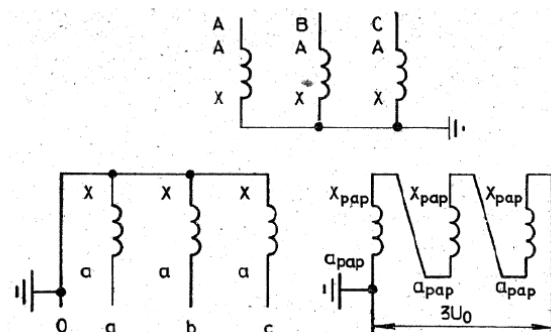
5.1. Spriegummaiņi un to ekspluatācija.

Spriegummaiņu darbības principi visu konstrukciju un uzbūvju spriegummaiņiem ir vienādi un līdzīgi ar jaudas transformatoru darbības principiem. Spriegummainis sastāv no lokšņu tērauda serdes konstrukcijas, no tās izolētas primārā un vairākiem sekundāriem, savstarpēji izolētiem tinumiem. Primāro tinumu ar lielu vijumu skaitu pieslēdz augstsprieguma elektroietasei, bet sekundāro tinumu ar mazāku vijumu skaitu pieslēdz releju aizsardzībai vai mēriekārtu ķēdei. Konstrukтиву piemēru iekštipa vienfāzes spriegummainim var redzēt attēlā 5.1.



5.1. attēls. Iekštipa vienfāzes spriegummainis.

Spriegummaiņiem primārā tinuma sākumu vienmēr apzīmē ar lielo burtu „A”, bet tinuma beigu pievienojumu ar lielo burtu „X”. Sekundāros tinumus atzīmē līdzīgi, vienīgi to sākumu apzīmējumiem izvēlas mazos burtus, piemēram „a”, bet tinuma beigās – mazais burts „x” (attēls 5.2.).



5.2 attēls. Trīs vienfāžu spriegummaiņu slēguma shēma ar diviem sekundāriem tinumiem.

Par spriegummaiņa transformācijas koeficientu sauc primārā sprieguma attiecību pret

sekundāro vai arī primārā vijuma tinumu skaita attiecību pret sekundārā tinuma vijumu skaitu.

$$K_u = U_{1n} / U_{2n} \quad (5.1.)$$

Spriegummaiņi ir ar nelielu (ierobežotu) jaudu un augstu darbības precizitāti. Lai nepārslogotu tinumus, to izvēloties un ekspluatējot, ir jāveic spriegummaiņa jaudas aprēķins. Pārslogojot spriegummaiņa tinumu, samazinās tā precizitāte, kā arī pārslodze izraisa pastiprinātu siltuma izdalīšanos spriegummainī, kas, savukārt, izraisa izolācijas novecošanos. Tāpēc spriegummaiņa sekundāro tinumu aizsardzībai rekomendē izmantot strāvas aizsardzību ar automātslēdzi.

Atkarībā no sekundārās slodzes, viens un tas pats spriegummainis var darboties dažādās precizitātes klasēs. Katra no izgatavotājrūpnīcām norāda spriegummaiņu nominālo jaudu, kura spriegummainim garantē attiecīgo precizitātes klasi. Spriegummaiņus, bez releju aizsardzības un mērinstrumentu barošanas vīdsprieguma elektriskos tīklos ar izolētu vai kompensētu neitrāli, vēl izmanto arī signalizācijai par zemesslēģumu. Šajos gadījumos izmanto spriegummaiņus ar diviem sekundāriem tinumiem. Trīsfasu ķēdēs spriegummaiņu primāros un pirmo sekundāro tinumu slēdz zvaigznes slēģumā ar zemētu nullpunktu, bet sekundāros papildtinumus slēdz vaļējā trijstūrī ar vienu zemētu izvadu. Šo vaļējā trijstūra tinumu savieno ar signalizācijas un aizsardzības iekārtām. Sekundāro ķēžu nullpunkta vai viena no tinumiem izvada zemēšanu veido, lai aizsargātu apkalpojošo personālu no primārā sprieguma nokļūšanas sekundārajās ķēdēs spriegummaiņa izolācijas bojājuma gadījumā.

Ieteicamie spriegummaiņu ekspluatācijas darbu apjomi un darbu veikšanas periodiskums saskaņā ar LEK002 (tabula 5.1.) (3) :

Darba nosaukums	Periodiskums	Tehnoloģija un norādījumi
Izolācijas pretestības mērījumi primārajiem tinumiem	Vienlaicīgi ar primāro slēģiekārtu uzturēšanu.	Mēra ar 2500V megommetru. Pretestība ekspluatācijā esošiem mērmaiņiem nav normēta.
Izolācijas pretestības mērījumi sekundārajiem tinumiem	Vienlaicīgi ar primāro slēģiekārtu uzturēšanu.	Mēra ar 1000V megommetru. Mērot kopā ar pieslēgtajām ķēdēm, tā nedrīkst būt mazāka par 1MΩ.

Pārbaude ar 50Hz paaugstinātu maiņspriegumu primārajiem tinumiem	Individuāli pēc spriegummaiņu izolējošo daļu atjaunošanas.	Pārbaudes spriegums un ilgums ir atbilstošs spriegummaiņu izolācijai: Porcelāna izolācija (1 min), 6kV – 32kV; 10kV – 42kV; 20kV – 65kV. Pārējā izolācija (5 min), 6kV – 29kV; 10kV – 38kV; 20kV – 59kV.
Pārbaude ar 50Hz paaugstinātu maiņspriegumu sekundārajiem tinumiem	Individuāli pēc spriegummaiņu izolējošo daļu atjaunošanas.	Pārbaudi veic ar 1kV maiņsspriegumu 1 min. vai ar 2500V megommetru.

5.1. tabula Spriegummaiņu ekspluatācijas darbu apjomi, veidi un darbu veikšanas periodiskums.

Šīs normas piemērojamas, ja izgatavotājrūpnīca nav norādījusi citus pārbaudes sprieguma lielumus.

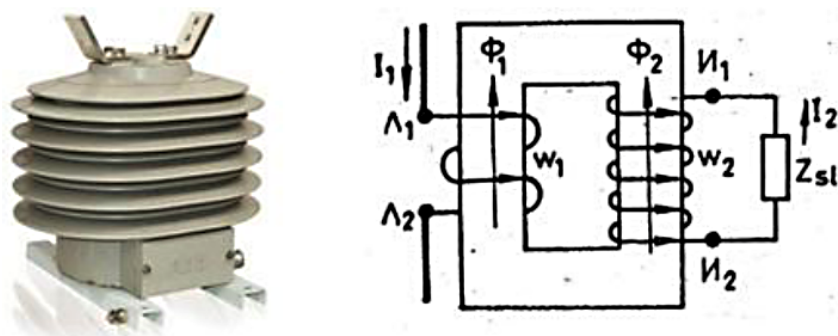
Spriegummaiņu vizuālā novērtēšana, putekļaino virsmu tīrīšana un pievienojumu skrūvju kontrole ir neatņemama sastāvdaļa, veicot šo iekārtu tehnisko uzturēšanu. Defekta novēršana šajās iekārtās pamatā ir saistīta ar jaunu iekārtu uzstādīšanu un defektēto iekārtu noņemšanu, lai diagnostiku un iespējamus remontus veiktu stacionārā remontzonā.

Spriegummaiņu jaunākais ekspluatācijas mērījums ir daļējās izlādes attālināts mērījums kopā ar termodiagnostiku. Tie ir bezpārtraukumu profilaktiskie mērījumi (nav nepieciešama to atslēgšana no sprieguma), ar kuru palīdzību var atklāt iespējamus iekšējos defektus spriegummaiņos. Veicot atkārtotus mērījumus pēc noteikta laika un to analīzi, var secināt par defekta progresu (tālāko attīstību). Ja konstatētais defekts progresē, ir jāieplāno atslēgums un jāveic spriegummaiņa nomaiņa. Pretēji, spriegummaiņa bojājuma gadījumā, notiks „ķēdes reakcija” (izsauks blakus atrodošos iekārtu bojājumus), piemēram, aizdegusies eļļa, vai šķembas var radīt nopietnus bojājumus 110 kV apakšstacijas iekārtai un c. gadījumus.

5.2. Strāvmaiņi, to ekspluatācija.

Konstruktīvistrāvmainis izveidots ar primāro un sekundāro tinumu, kas novietots uz tērauda serdes. (attēls 5.3.) Primārais tinums vienmēr tiek slēgts mērāmajā ķēdē virknē, un caur to plūst slodzes strāva, vai bojājumu gadījumos īsslēguma strāva. Strāvmaiņu

primārie tinumi paredzēti nominālo strāvu pieslēgumiem un tie ir izveidoti no atbilstoša šķērsgriezuma materiāla ar nelielu vijumu skaitu. Sekundārajiem tinumiem ir liels vijumu skaits un tam virknē slēdz relejus un mērinstrumentus, kas veido strāvmaiņu sekundāro slodzi. Sekundārā slodze ir neliela, kopējā ķēdes pretestība ir mērāma omos. Tātad strāvmaiņu darba režīms ir tuvu īsslēgumam.



5.3.attēls. Ārtipa strāvmaiņa konstruktīvais izpildījums un principiālā shēma.

Tāpat kā spriegummaiņos, arī strāvmaiņos sekundārā tinuma vijuma skaita attiecību w_2 pret primārā tinuma vijuma skaitu w_1 sauc par transformācijas koeficientu k_i :

$$k_i = w_2 / w_1. \quad (5.2)$$

Ja strāva primārajā ķēdē nepārsniedz strāvmaiņa nominālo strāvu, magnetizēšanas strāva ir maza un to var neievērot. Transformācijas koeficients ir primārās nominālās strāvas attiecība pret sekundāro nominālo strāvu:

$$k_i = I_1 / I_2. \quad (5.3)$$

Lielanozīmeir strāvmaiņamagnetizēšanās strāvai. Magnetizēšanās strāvas aktīvā komponente saistīta ar aktīviem zudumiem serdē dēļ virpuļstrāvas un histerēzes. Magnetizējošā strāvas aktīvā komponente izraisa strāvmaiņa kļūdu. Šīs strāvas aktīvās un reaktīvās komponentes dēļ sekundārā strāva I_2 pēc lieluma un fāzes nedaudz atšķiras no reducētās primārās strāvas. Jo lielāka magnetizēšanas strāva, jo lielāka šī atšķirība un līdz ar to arī strāvmaiņa kļūda. Aktīvā kļūda sastāv no divām komponentēm - leņķa kļūdas un strāvas kļūdas, ko izsaka procentos. Leņķa kļūda ir sekundārās strāvas fāzes nobīde attiecībā pret primāro strāvu.

Strāvmaiņu precizitāti ietekmē arī primārās strāvas lielums. Pie mazām un lielām strāvām strāvmaiņu kļūda pieaug. Strāvmainis noteiktajā precizitātes klasē darbojas tikai noteiktas primārās strāvas robežās. Tādēļ, lai strāvmaiņa precizitāte būtu augstāka tā darbība stabilāka, ir jāizvēlas darbības diapazons trīs ceturtdaļas no nominālās strāvas.

Releju aizsardzības ķēdēs strāvmaiņi galvenokārt darbojas īsslēguma režīmā ar strāvām, kas vairakkārt pārsniedz strāvmaiņu nominālos lielumus. Lielās magnetizēšanas strāvas piesātina serdi, kas ievērojami palielina strāvas kļūdu. Aprēķini un praktiskā pieredze

liecina, ka šī kļūda nepārsniedz 10%.

Releju aizsardzības strāvmaiņiem strāvmaiņu nominālo strāvu nosaka :

$$I_1 = I_{k3} / 10, \quad (5.4.)$$

kur I_{k3} – trīsfāzu īsslēguma strāvas efektīvā vērtība strāvmaiņu pievienojumā.

Strāvmaiņu noturību pret īsslēgumu raksturo strāvmaiņa dinamiskā un termiskā noturības strāva. Strāvmaiņa dinamiskās noturības strāva ir īsslēguma strāvas amplitūdas vērtība visā strāvas plūšanas laikā, kurā strāvmainim nav bojājumu. Strāvmaiņa termiskās noturības strāva ir lielākā īsslēguma strāvas efektīvā vērtība laika vienībā, kurā strāvmainim nav bojājumu, un strāvu vadošās daļas nepārsniedz pieļaujamās temperatūras (300°C vara daļām, ja tās nesaskaras ar organiskas izolācijas materiāliem un eļļu).

Konstruktīvi strāvmaiņu primārie tinumi ir izveidoti kā vientinuma vai daudztinumu. Vientinuma strāvmaiņos primārais tinums ir izveidots kā monolīta kopne, kas novietota serdes logā. Strāvmaiņu tinumu apzīmējumos parasti ir lieli burti, kur to indekss „1” apzīmē tinuma sākumu, bet indekss „2” - tinuma beigas.

Energosistēmā, kā speciāls strāvmaiņu veids, tiek pielietots nulsecības strāvmainis. Tas paredzēts, lai tīklā ar izolētu vai kompensētu neitrāli identificētu zemesslēguma strāvas un nodrošinātu RA nostrādi. Nulsecības strāvmainis sastāv no neizjaucamas vai izjaucamas toroidālas serdes ar sekundāriem tinumiem. To uzstāda uz kabeļu līnijas galiem, galu apdares tuvumā, kabeli ar bruņu un zemējuma vadu izvelkot caur strāvmaini. Eksploatācijā visbiežāk sastopamā kļūda ir tā, ka strāvmaiņa zemēšanas vads netiek izlaists caur strāvmaini, bet saskaras ar zemētām ietaisēm jau pirms strāvmaiņa. Vidsprieguma gaisvadu līnijās šādu strāvmaini var aizstāt ar filtra slēguma shēmā saslēgtiem strāvmaiņiem, kuri arī identificēs nulsecības strāvu I_0 . Vienīgi šo triju strāvmaiņu magnetizēšanās līknēm jābūt gandrīz ideāli vienādām, lai izslēgtu nesimetrijas strāvas kļūdu mērījumā.

Ieteicamie strāvmaiņu eksploatācijas darbu apjomi un darbu veikšanas periodiskums saskaņā ar LEK002 parādīti tabulā 5.2.(3) :

Darba nosaukums	Periodiskums	Tehnoloģija un norādījumi
Izolācijas pretestības mērījumi primārajiem tinumiem	Vienlaicīgi ar primāro slēgiekārtu uzturēšanu.	Mēra ar 2500V megommetru. Pretestība eksploatācijā esošiem mērmaiņiem nav normēta.

Izolācijas pretestības mērījumi sekundārajiem tinumiem	Vienlaicīgi ar primāro slēgiekārtu uzturēšanu.	Mēra ar 1000V megommetru. Mērot kopā ar pieslēgtajām ķēdēm, tā nedrīkst būt mazāka par 1MΩ.
Pārbaude ar 50Hz paaugstinātu maiņspriegumu primārajiem tinumiem	Individuāli pēc strāvmaiņu izolējošo daļu atjaunošanas.	Pārbaudes spriegums un ilgums ir atbilstošs spriegummaiņu izolācijai: Porcelāna izolācija (1 min), 6kV – 32kV; 10kV – 42kV; 20kV – 65kV. Pārējā izolācija (5 min), 6kV – 29kV; 10kV – 38kV; 20kV – 59kV.
Pārbaude ar 50Hz paaugstinātu maiņspriegumu sekundārajiem tinumiem	Individuāli pēc strāvmaiņu izolējošo daļu atjaunošanas.	Pārbaudi veic ar 1kV maiņsspriegumu 1 min. vai ar 2500V megommetru.
Strāvmaiņu serdes magnetizēšanas līknes pārbaude		Jāpārbauda magnetizēšanās līknes 2 -3 punkti.

5.2.tabula. Strāvmaiņu ekspluatācijas darbu apjomi un darbu veikšanas periodiskums.

Šīs normas lietojamas gadījumos, ja izgatavotājrūpnīca nav norādījusi citus pārbaudes sprieguma lielumus.

Kontroljautājumi par 5. nodaļu

- 1.Kāds ir normāls strāvmaiņu darbības režīms?
- 2.Ko ietekmē strāvmaiņu magnetizēšanas strāva?
- 3.Kādi fizikālie lielumi ietekmē strāvmaiņa precizitāti?
- 4.Kas ir nullsecības strāvmainis un kam to izmanto?
- 5.Kāda ir spriegummaiņu konstruktīvā uzbūve?
- 6.Kāpēc spriegummaiņa jauda ir atkarīga no svāra?
- 7.Vai spriegummaiņa tinumam var būt dažāds precizitātes klases? Kāpēc?
- 8.Kā nosaka nullsecības spriegumu trīsfāzu sistēmā?

6. Elektroenerģijas uzskaitē

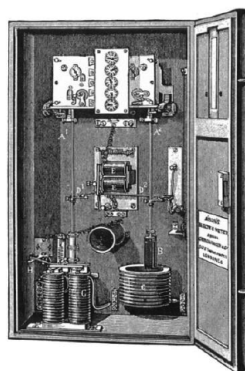
6.1. Elektroenerģijas uzskaites pirmsākumi.

Elektroenerģijas skaitītājs ir ierīce, kas mēra caur to plūstošās elektroenerģijas daudzumu. Visizplatītākā elektroenerģijas daudzuma mērvienība mūsdienās ir **kilovatstunda** (kWh), kas ir līdzvērtīga enerģijas daudzumam, ko **vienu kilovatu** (1 kW) liela slodze patērē **vienas stundas** (1h) laikā. Viena kilovatstunda atbilst 3 600 000 džouliem.

Elektroenerģijas skaitītājs var reģistrēt arī citus parametrus, piemēram, reaktīvās enerģijas daudzumu, slodžu grafiku vai maksimumus, sprieguma atslēgumus, elektroenerģijas kvalitātes parametrus u.c. Skaitītājā var būt iebūvētas vai tam pievienotas papildus ierīces – sakaru ierīces datu attālinātai pārraidei, atslēdzoša ierīce elektroenerģijas piegādes pārtraukšanai vai ierobežošanai u.c.

Tā kā 19. gadsimta 80-tajos gados sāka attīstīties elektroenerģijas tirdzniecība, elektroenerģijas tirgotāji pieprasīja izstrādāt atbilstošu skaitītāju, līdzīgu tajā laikā populārajiem gāzes skaitītājiem, lai varētu piestādīt korektus rēķinus klientiem. Tika radīti vairāki eksperimentāli skaitītāju paraugi, tajā skaitā Tomasa Edisona (Thomas Alva Edison) radītā elektroķīmiskā mērīšanas ierīce, kas balstījās uz elektrolīzes principa un saturēja speciālas plates, kuras vajadzēja periodiski izņemt un nosvērt, lai noteiktu patērētās elektroenerģijas apjomu.

1885. gadā Sebastiāns Ferranti (Sebastian Ziani de Ferranti) piedāvāja skaitītāju ar dzīvsudraba mehānismu un gāzes skaitītājiem līdzīgu reģistru, kas bija ērti nolasāms. Tomēr pirmo skaitītāju, kas precīzi uzskaitīja patērēto elektroenerģiju, patentēja Hermanis Ārons (Hermann Aron) 1883. gadā (attēls 6.1.). 1888. gadā šādus skaitītājus Lielbritānijā ieviesa un sāka komerciāli izmantot kompānija „General Electric”. Pirms tam izmantotie skaitītāji spēja uzskaitīt tikai konkrētā laika momentā patērēto elektroenerģiju, tas ir, elektrisko jaudu. Ārona skaitītājs, turpretī, uzskaitīja summāri patērēto elektroenerģiju līdzīgi, kā to dara mūsdienu skaitītāji, un tam bija reģistrs, kas sastāvēja no vairākām ciparnīcām. [1]



6.1. attēls. Ārona skaitītājs, kas tika ieviests Lielbritānijā 1888. gadā.

Iepriekš aprakstītie elektroenerģijas skaitītāji bija paredzēti darbam līdzstrāvas tīklā.

Pirmais maiņstrāvas kilovatstundu skaitītāja paraugs tika izgatavots, balstoties uz ungāru zinātnieka Otto Blathija (Ottó Bláthy) patentu un nosaukts viņa vārdā pēc tam, kad kompānija Ganz Works 1889. gada rudenī to prezentēja Frankfurtes gadatirgū. Tā paša gada beigās kompānija uzsāka pirmo indukcijas kilovatstundu skaitītāju ražošanu un tirdzniecību. Šie skaitītāji sākotnēji bija pazīstami kā Blathija skaitītāji.

Šodien lietotie elektroenerģijas skaitītāji strādā pēc tā paša principa kā Blathija izgudrojums. Arī Elihu Tomsons (Elihu Thomson) no Amerikas „General Electric” kompānijas ap 1889. gadu izgudroja ierakstošo vatmetru (vatstundu skaitītāju), kura darbības pamatā bija kolektora dzinējs. Šis skaitītājs spēja uzskaitīt gan maiņstrāvu gan līdzstrāvu. (22)

1894. gadā Olivers Šelenbergers (Oliver Shallenberger) no „Westinghouse Electric Corporation” izmantoja indukcijas principu, kas pirms tam tika izmantots vienīgi maiņstrāvas ampērstundu skaitītājos, lai radītu mūsdienu konstrukcijas skaitītāju ar rotējošu disku, kura rotācijas ātrums ir proporcionāls elektriskajā ķēdē plūstošās strāvas lielumam. Skaitītājs svēra vairāk nekā 18 kg un tā cena vairāk nekā 2 reizes pārsniedza citu tirgū pieejamo skaitītāju cenu (attēls 6.2.). Šelenbergera skaitītājs bija līdzīgs Blathija un Tomsona konstrukcijām, jo tika balstīts uz motora principu. Lai gan šis skaitītājs spēja darboties vienīgi maiņstrāvas tīklā, tam nevajadzēja kolektoru, kas padarīja konstrukciju vienkāršāku un drošāku. Vēlāk Šelenbergers izstrādāja arī trīsfāžu skaitītāja prototipu. (23)



6.2. attēls. Šelenbergera skaitītājs – pirmais komerciāli ražotais indukcijas tipa skaitītājs ar skaitļu rullīšu reģistru.

6.2. Elektroenerģijas skaitītāja uzbūve un darbības principi

6.2.1. Elektroenerģijas skaitītāju iedalījums

Elektroenerģijas skaitītāji tiek iedalīti 2 lielās grupās – **elektromehāniskie** jeb indukcijas tipa un **elektroniskie**.

Elektromehāniskie skaitītāji joprojām Latvijā ir biežāk sastopami, tomēr pēdējās desmitgades laikā to izplatība strauji samazinās, un ir paredzams, ka Eiropas valstīs laikā līdz 2022. gadam tos pilnībā varētu aizstāt attālināti nolasāmi elektroniskie skaitītāji ar papildus funkcijām jeb t.s. viedie skaitītāji.

Nelielas elektriskās slodzes uzskaitēi tiek izmantoti t.s. tiešā slēguma skaitītāji, kas tiek tieši ieslēgti starp enerģijas avotu un patērētāju un caur kuriem plūst pilna elektroietaisies darba strāva. Lai uzskaitītu lielākas slodzes (vairāk kā 100 – 120A), starp enerģijas avotu un patērētāju slēdz strāvas transformatorus jeb strāvmaiņus. Strāvmaiņa uzdevums ir samazināt caur skaitītāju plūstošās strāvas vērtību, tā primārā tinumā plūst visa slodzes strāva, savukārt sekundārajā – strāva, kas ir noteiktu skaitu reižu mazāka nekā primārajā tinumā. Attiecība starp strāvmaiņa primāro un sekundāro strāvu ir nemainīgs lielums un to sauc par strāvmaiņa koeficientu. Strāvmaiņu nominālās sekundārās strāvas lielums parasti ir 1 vai 5 A. Skaitītāju slēdz strāvmaiņa sekundārā tinuma ķēdē un, lai iegūtu faktiski patērētās elektroenerģijas apjomu, tā uzskaitītās enerģijas daudzumu reizina ar strāvmaiņa koeficientu.

Ja nepieciešams veikt patērētās elektroenerģijas uzskaiti elektrotīklā ar darba spriegumu, kas lielāks par 1000V, lieto mērmaiņus - atbilstošam spriegumam paredzētus strāvmaiņus un speciālus sprieguma transformatorus jeb spriegummaiņus. Spriegummaiņa uzdevums ir samazināt līnijas spriegumu līdz sprieguma līmenim, kādam paredzēts skaitītājs. Atšķirībā no tiešā slēguma skaitītājiem, skaitītāji, kas paredzēti darbam ar spriegummaiņiem, parasti paredzēti 100/57,7 V darba spriegumam. Attiecību starp spriegummaiņa primāro un sekundāro spriegumu sauc par spriegummaiņa koeficientu. Lai iegūtu faktiski patērētās elektroenerģijas apjomu, skaitītāja, kurš ieslēgts caur strāvmaiņiem un spriegummaiņiem, uzskaitītās enerģijas daudzumu reizina ar strāvmaiņu un spriegummaiņa koeficientu reizinājumu:

$$K = K_I \times K_U$$

K_I – strāvmaiņa transformācijas koeficients, K_U – spriegummaiņa transformācijas koeficients

Piemēram, skaitītāja, kurš ieslēgts caur 20/5 A strāvmaiņiem un 10 000/100 V spriegummaiņiem, rādījumi jāreizina ar koeficientu 400 (strāvmaiņu koeficients 4 un spriegummaiņu koeficients 100.)

Mūsdienās uzskaitēi ar strāvmaiņiem izmanto elektroniskos daudzfunkciju skaitītājus, kuri ir paredzēti plašam darba spriegumu diapazonam (100/57,7 – 230/400V) un kuru atmiņā iespējams ieprogrammēt mērmaiņu koeficientu, kuru skaitītājs ņem vērā, veicot aprēķinus, tādējādi skaitītāja displejā ir nolasāms faktiski patērētās elektroenerģijas daudzums.

6.2.2. Elektromehāniskais (indukcijas tipa) skaitītājs

Elektroenerģijas skaitītājs darbojas, mērot momentānās sprieguma un strāvas vērtības un pārveidojot tās elektriskajā jaudā, kura, savukārt, tiek integrēta laikā, tādējādi iegūstot patērēto elektroenerģiju.

Jāatzīmē, ka arī pats skaitītājs patērē nelielu daudzumu enerģijas, parasti ap 1 – 2 W katrā fāzē. Mūsdienīgs 1-fāzes indukcijas tipa skaitītājs redzams attēlā 6.3.

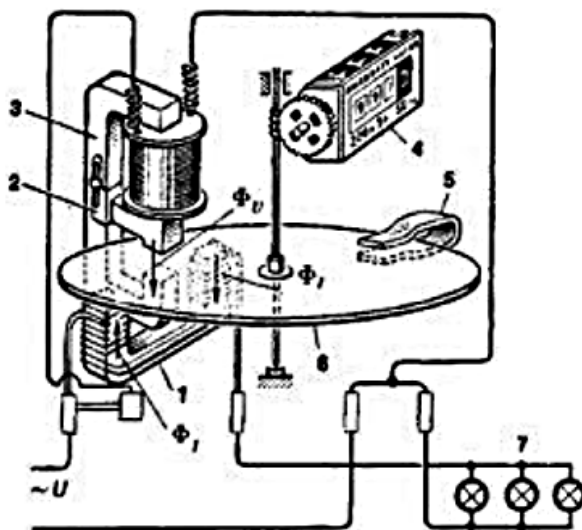


6.3. attēls.Schlumberger P-10 tipa vienfāzes skaitītājs

Trīsfāžu skaitītāja darbības princips būtiski neatšķiras no vienfāzes, bet tam katrā fāzē ir sava sprieguma un strāvas spole. Skaitītāja lodziņā ir redzams horizontāli rotējošs alumīnija disks. Alumīnija diska rotāciju nodrošina divu spoļu (sprieguma un strāvas spoles) radītais elektromagnētiskais lauks. Sprieguma spoles radītā magnētiskā plūsma ir proporcionāla tai pieliktajai sprieguma vērtībai, savukārt strāvas spoles radītā magnētiskā plūsma ir proporcionāla cauri plūstošās strāvas vērtībai. Sprieguma spoles radītais lauks tiek aizkavēts par 90 grādiem, izmantojot papildus (nobīdes) spoli. Tas rada strāvas diskā, kā rezultātā diskam pieliktais spēks ir proporcionāls momentānām strāvas un sprieguma vērtībām. Pastāvīgais magnēts rada pretēji vērstu spēku, kas ir proporcionāls diska griešanās ātrumam. Līdzsvars starp šiem pretēji vērstajiem spēkiem rada diska rotācijas kustību, kas ir proporcionāla patērētajai jaudai. Disks, savukārt,

darbina skaitītāja reģistra mehānismu, kas, diska griešanās ātrumu integrējot laikā, ataino patērētās enerģijas apjomu laika vienībā, līdzīgi, kā automašīnas odometrs attēlo kopējo automašīnas nobraukumu. (23)

Indukcijas skaitītāja konstrukcija un darbības princips shematiski attēlots attēlā 6.4.



6.4. attēls. Indukcijas tipa skaitītāja konstrukcija [3]

Φ_U - sprieguma ķēdes strāvas (paralēli slodzei) inducētā magnētiskā plūsma

Φ_I - slodzes strāvas inducētā magnētiskā plūsma

1 - strāvas ķēdes elektromagnēts jeb strāvas spole

2 - metāla sloksne fāzes nobīdes leņķa regulēšanai starp plūsmām Φ_U un Φ_I

3 - sprieguma ķēdes elektromagnēts jeb sprieguma spole

4 - skaitļu mehānisms

5 - diska bremzējošais magnēts

6 - alumīnija disks

7 -pieslēgtā slodze

Rezumējot, var teikt, ka skaitītājs darbojas, skaitot rotējošā diska apgriezienus, un tā griešanās ātrums ir proporcionāls patērējamai jaudai. Uzskaitītais apgriezienu skaits, savukārt, ir proporcionāls elektroenerģijas patēriņam. Sakarību starp diska apgriezienu skaitu un patērētās enerģijas apjomu (kWh) sauc par skaitītāja konstanti un izsaka apgriezienos uz 1 kWh. Skaitītāja konstante dažādu tipu skaitītājiem ir atšķirīga, tā parasti ir robežās no 40-1200 apgr./kWh.

Zinot skaitītāja konstanti un izmērot, cik ilgā laikā skaitītāja disks veic noteiktu skaitu apgriezienu, iespējams aprēķināt tam pieslēgtās slodzes lielumu P [kW], izmantojot šādu

formulu:
$$P = \frac{3600}{T_{lapg} K}$$

T_{lapg} – skaitītāja diska viena apgrieziena laiks [sekundēs]

K – skaitītāja konstante [apgriezieni/1kWh]

Lai iegūtu precīzāku rezultātu pie maza diska apgrieziena laika, uzņem laiku vairākiem (5 vai 10) diska apgriezieniem un, rezultātu izdalot ar apgriezienu skaitu, iegūst viena apgrieziena laiku. Ja skaitītājs slēgts caur mērmaiņiem, iegūtais rezultāts jāreizina ar mērmaiņu transformācijas koeficientu.

Elektroenerģijas daudzumu W [kWh], ko skaitītājs uzskaitīs laika sprīdī, zinot pieslēgtās slodzes lielumu, var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$W = P \times t$$

P – skaitītājam pieslēgtās slodzes lielums [kWh]

t – laiks [h]

Elektromehāniskajiem skaitītājiem piemīt vairāki būtiski trūkumi: ierobežots funkciju klāsts, slodžu grafika reģistrācijas un uzkrāšanas iespēju, notikumu reģistrēšanas iespēju un datu apmaiņas interfeisu trūkums u.c., kuru dēļ tie pamazām tiek aizstāti ar elektroniskajiem skaitītājiem.

6.2.3. Elektroniskais skaitītājs

Elektroniskais skaitītājs no indukcijas tipa skaitītāja atšķiras ar to, ka tajā nav kustīgu detaļu. Šādā skaitītājā izmanto elektroniskus strāvas un sprieguma reģistratorus jeb sensorus, kas elektroniskai shēmai pievada strāvas un sprieguma vērtībām proporcionālus signālus, kurus, tālāk apstrādājot, tiek iegūti dati par elektroenerģijas daudzumu.

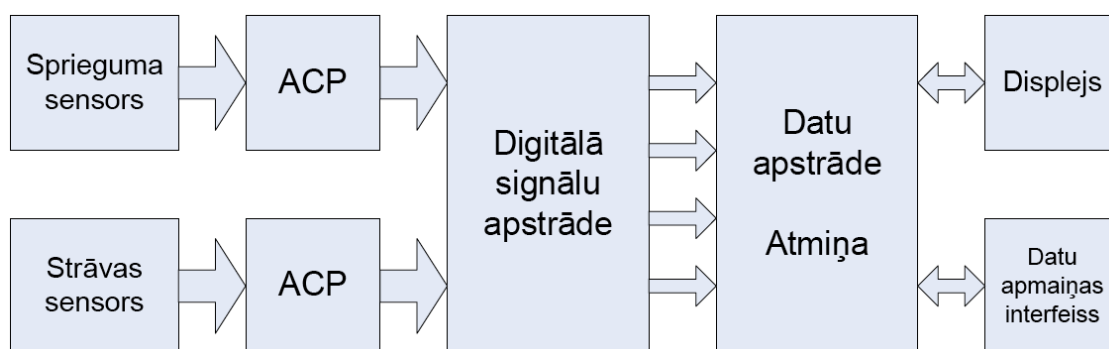
Mūsdienīgs 1-fāzes elektroniskais skaitītājs redzams attēlā 6.5.



6.5. attēls. Sagemcom CX-1000 tipa vienfāzes skaitītājs

Būtiskākās elektronisko skaitītāju priekšrocības:

- elektroniskais skaitītājs nesatur kustīgas detaļas, tā darbības precizitāte nav atkarīga no skaitītāja pareiza novietojuma un detaļu mehāniska nolietojuma ekspluatācijas rezultātā;
- tam ir mazāki izmēri un svars, plašāks darba strāvu diapazons;
- tam ir precīzāka aktīvās jaudas un enerģijas mērīšana, ieskaitot augstāko harmoniku elektroenerģiju;
- iespējas klientam piedāvāt papildus servisu – automātiskā nolasīšana, uzskaitē vairākās tarifu zonās, slodžu profila un elektroenerģijas kvalitātes parametru monitorings, notikumu reģistrēšana.



6.6. attēls. Elektroniskā elektroenerģijas skaitītāja blokhēma

Elektroniskā elektroenerģijas skaitītāja blokhēma attēlota attēlā 6.6. Blokhēmā redzams, ka skaitītāja mērīšanas ķēdes ietver sprieguma un strāvas sensorus. No sensoriem signāls tiek dots uz **analogciparu pārveidotāju** jeb **ACP** (angļu valodā: Analog-to-Digital Converter jeb ADC), kas ir ierīce, kas pārveido ieejas analogo signālu diskrētajā kodā (ciparu signālā). Tālāk ciparu signāli tiek apstrādāti, veicot enerģijas daudzuma aprēķinu no momentānajām vērtībām. Sistēmas vadību, datu tālāku apstrādi, saglabāšanu, izvadi uz displeja, kā arī datu apmaiņu ar ārējām ierīcēm caur datu apmaiņas interfeisu nodrošina datu apstrādes bloks, kas ietver mikroprocesoru un atmiņu. (24)

Viena no būtiskākajām lietām, kas ietekmē gan skaitītāja precizitāti, gan pārējos parametrus, ir sprieguma un strāvas sensori. Sprieguma sensoru parasti veido, samazinot līnijas spriegumu ar rezistoru dalītāja palīdzību vai arī izmanto transformatoru, ja nepieciešams izolēt mērīšanas ķēdes no elektrotīkla.

Daudz sarežģītāks uzdevums ir strāvas sensora izveide, jo no vienas puses jāreķinās ar plašu mērāmo strāvu diapazonu, bet no otras puses jānodrošina tā darbība plašā frekvenču spektrā, jo strāvas komponente satur lielu daudzumu augstāko harmoniku. Moderna skaitītāja strāvas sensoram jābūt paredzētam darba strāvai līdz pat 120A, vienlaicīgi nodrošinot precīzu elektroenerģijas uzskaiti pie zemām strāvas vērtībām. (25)

Šobrīd ir zināmi 4 populārākie strāvas sensoru veidi:

1. Zemas pretestības strāvas šunts

Zemas pretestības strāvas šunts ir lētākais no šodien pieejamajiem risinājumiem, kurš nodrošina vienkāršu un izcili precīzu strāvas mērīšanu. Šīs ierīces prototips ir rezistors. Tomēr, veicot precīzus mērījumus, jāņem vērā šim elementam piemītošā parazitiskā induktivitāte, kas, lai gan ietekmē elementa vadītspēju tikai pie relatīvi augstām frekvencēm, tomēr ietekme uz fāzes nobīdi pie elektrotīkla frekvences ir pietiekama, lai pie zema jaudas koeficienta izsauktu ievērojamu mērījumu kļūdu. Fāzes nobīde tikai par $0,1^\circ$ izraisa aptuveni 0,3% lielu mērījumu kļūdu pie jaudas koeficienta 0,5. Zemo ražošanas izmaksu un augstā darbības drošuma dēļ zemas pretestības strāvas šunta tehnoloģija šobrīd tiek plaši izmantota elektroenerģijas skaitītājos. Tomēr, tā kā šunta pamatā ir rezistīvs elements, elektroenerģijas zudumi tajā ir proporcionāli caurplūstošās strāvas lieluma kvadrātam. Līdz ar to minētais risinājums nav piemērotākais skaitītājiem ar lielu darba strāvu. (25)

2. Strāvas transformators

Strāvas transformatorā izmanto transformatora principu, lai salīdzinoši lielu caurplūstošo strāvu pārveidotu mazākā. Šis sensora veids tiek plaši izmantots skaitītājos ar lielu darba strāvu. Tā ir pasīva ierīce, kuras darbības nodrošināšanai nav nepieciešamas papildus ierīces. Šāds sensors var tikt izmantots ļoti lielu strāvu mērīšanai, vienlaicīgi pati ierīce patērē nelielu elektroenerģijas daudzumu. Tomēr pie lielas primārās strāvas vērtības, kā arī saistībā ar pastāvošo līdzstrāvas komponenti, var tikt piesātināta transformatora serde, kas izgatavota no ferīta. Magnetizētai serdei piemīt histerēzes efekts, kas negatīvi ietekmē mērījumu precizitāti, kamēr serde netiek atmagnetizēta. (25)

3. Holla efekta sensors

Sastopami 2 veidu Holla efekta sensori – atvērtā un slēgtā tipa. Slēgtā tipa sensors nodrošina labāku precizitāti un plašāku dinamisko diapazonu, bet ir dārgāks ražošanā. Ražošanas izmaksu dēļ lielākā daļa skaitītājos izmantoto atvērta tipa Holla efekta sensoru. Šī veida sensori var strādāt plašā frekvenču diapazonā, kā arī ar tiem iespējams mērīt lielas strāvas. To trūkumi ir ievērojams izejas signāla dreifs temperatūras izmaiņu ietekmē un nepieciešamība izmantot papildus elementus sensora darbības nodrošināšanai. Minēto trūkumu un relatīvi augsto ražošanas izmaksu dēļ holla efekta sensorus pēdējā laikā skaitītājos izmanto ļoti maz. (25)

4. Rogovska spole (dI/dt sensors)

Rogovska spole, kas nosaukta par godu vācu fiziķim Valteram Rogovskim (Walter

Rogowski), ir elektriskā ierīce maiņstrāvas vai strāvas impulsu mērīšanai. Tā sastāv no īpaši veidotas spirālveida spoles, kas uztīta uz taisna vadītāja, kurā plūstošo strāvu nepieciešams mērīt. Tā kā spolē inducētais signāls ir proporcionāls strāvas izmaiņu ātrumam (atvasinājumam dI/dt), lai iegūtu mērāmās strāvas lielumam proporcionālu izejas signālu, spoles izejā tiek pieslēgts elektronisks integrators.

Šī tehnoloģija plašāku attīstību piedzīvojusi tikai pēdējā laikā, kad tika atrisināta problēma ar ilglaicīgi stabila un precīza ciparu integratora izstrādi. Tomēr, pateicoties augstai mērījumu precizitātei, plašajam dinamiskajam diapazonam un zemām ražošanas izmaksām, tieši Rogovska spole ir viena no progresīvākajām strāvas sensoru tehnoloģijām, kas tiek izmantota elektroniskajos elektroenerģijas skaitītājos. (25) Dažādu strāvas sensoru īpašību salīdzinājums apkopots tabulā 6.1.

Strāvas sensora tips	Zemas pretestības strāvas šunts	Strāvas transformators	Holla efekta sensors	Rogovska spole
Ražošanas izmaksas	Ļoti zemas	Vidējas	Augstas	Zemas
Linearitāte mērīšanas diapazonā	Ļoti laba	Vidēja	Zema	Ļoti laba
Lielu strāvu mērīšanas iespēja	Ļoti zema	Laba	Laba	Ļoti laba
Pašpatēriņš	Augsts	Zems	Vidējs	Zems
Piesātinājuma rašanās problēma pie lielām strāvām un līdzstrāvas	Nepastāv	Pastāv	Pastāv	Nepastāv
Temperatūras atkarība	Vidēja	Zema	Augsta	Ļoti zema
Līdzstrāvas kompensācijas problēma	Pastāv	Nepastāv	Pastāv	Nepastāv
Piesātinājuma un histerēzes problēma	Nepastāv	Pastāv	Pastāv	Nepastāv

Tabula Nr. 6.1 Elektronisko skaitītāju sensoru īpašību salīdzinājums [5]

6.2.4. Daudzfunkciju skaitītāji un to funkcijas

Daudzfunkciju skaitītāji ir elektroniskie skaitītāji ar paplašinātām funkcijām, iekšējo pulksteni un atmiņu, kā arī datu apmaiņas interfeisiem (parasti vairākiem), kas nodrošina daudz plašāku papildus funkciju klāstu nekā vienkāršie elektroniskie skaitītāji. Kā būtiskākās papildus funkcijas daudzfunkciju skaitītājiem var minēt:

- vienlaicīga divu virzienu aktīvās un reaktīvās enerģijas uzskaitē ($+A -A +R -R$);
- elektroenerģijas uzskaitē vairākās tarifu zonās (dienas, nakts un maksimumstundu tarifa zona), ņemot vērā mērmaiņu koeficientu;
- diennakts, mēneša un kopējā uzskaitītās elektroenerģijas daudzuma aprēķins
- slodžu grafika reģistrēšana un saglabāšana atmiņā ar iepriekš noteiktu periodu (biežāk sastopamais integrācijas periods ir 15, 30 vai 60 minūtes);
- notikumu reģistrēšana – sprieguma pārtraukumi, elektroenerģijas kvalitātes rādītāji, iekļaušanās skaitītājā, parametrizēšanas dati, magnētiskā lauka iedarbība u.c.;
- iespēja veikt datu apmaiņu ar attālinātu IT sistēmu, izmantojot standarta datu apmaiņas interfeisu (RS232, RS485 vai 20 mA strāvas cilpu) un attiecīgu standarta modemu (GPRS, PSTN, PLC uc.).

Mūsdienīgs daudzfunkciju elektroniskais skaitītājs redzams attēlā 6.7.



6.7. attēls. Elgama-Elektronika ražotais GAMA300 tipa daudzfunkciju skaitītājs

6.2.5. Vienotie skaitītāju protokoli un standarti, to priekšrocības un ieviešanas problēmas

OBIS (Object Identification System) nosaka identifikācijas kodus visiem datiem uzskaites ierīcēs, kas ir savietojamas ar t.s. DLMS/COSEM standartu. OBIS kodi ir vērtību kombinācijas katrā no sešām vērtību grupām (no A līdz F). Tās tiek izmantotas kā COSEM objektu loģiskie vārdi un (kopā ar klašu un versiju identifikatoriem) nepārprotami identificē visus COSEM datus. OBIS kodus izmanto gan datu attēlošanai skaitītāja displejā, gan nolasot uzskaites datus distances nolasīšanas sistēmās. (26)

DLMS (Device Language Message Specification) ir datu apmaiņas protokols, kas radies salīdzinoši nesen, bet arvien vairāk tiek izmantots, tādējādi netieši norādot, ka DLMS datu protokols būs jauno projektu un standartu pamatā (piemēram, Open Meter projekts).

DLMS/COSEM („COMpanion Specification for Energy Metering”) nosaka kontekstu un noteikumus, balstoties uz esošiem standartiem par datu apmaiņu starp enerģijas skaitītājiem. (26)

Konceptuāli DLMS protokola standarts sastāv no obligātās daļas (aptuveni 90%) un brīvi specifikējamas daļas (aptuveni 10%). Tā kā DLMS protokols ir objekt-orientēts, tad šī 10% atšķirība galvenokārt (bet ne viennozīmīgi) ir loģisko objektu izvēlē un atsevišķās specifikācijās. Tāpēc svarīgi ir saskaņot brīvi specifikēto protokola apjomu, lai katra no pusēm (piemēram, skaitītājs un datu nolasīšanas sistēma) zinātu, par ko „runā” otra puse. Pastāv iespēja, ka šīs atšķirības ir pietiekami nelielas un mazsvarīgas un pielāgošana nav nepieciešama, bet lielākoties divu dažādu ražotāju DLMS produkti ar atšķirīgām DLMS specifikācijām savā starpā komunicēt nevarēs (tāpat kā ar trešo sistēmu). Tas savukārt nozīmē, ka, izdarot izvēli par labu vienai no specifikācijām, arī pārējās tehnoloģijas jāizvēlas ar šo specifikāciju.

Pazīstamākie savietojamības nodrošināšanas gadījumi:

- DLMS IDIS koalīcija – Ražotāji „Itron”, „Iskraemeco” un „Landis+Gyr” ir vienojušies par vienotu DLMS protokola specifikāciju, likvidējot savstarpējas savietojamības riskus. Pēc IDIS specifikācijas visiem ražotajiem skaitītājiem un MDCS ir jāvar savā starpā komunicēt bez problēmām, tomēr, izvēloties IDIS skaitītāju, nepieciešama sistēma, kas saprot IDIS specifikāciju, tas nozīmē. sistēmas izvēli starp trīs augstākminētajiem ražotājiem un otrādi.
- DLMS PRIME specifikācija. PRIME specifikācija tika speciāli izveidota PLC (Power line carrier jeb informācijas pārraide, izmantojot elektrotīklu) komunikāciju veidam, lai optimāli nodrošinātu informācijas apmaiņu. PRIME protokols tiek īpaši plaši izmantots Spānijā. Izmantojot PRIME protokolu, savstarpējā savietojamība

nav problēma, tomēr šajā gadījumā sakaru sistēmas izvēle tiek piesaistīta tikai PLC komunikāciju veidam.

Lai garantētu savstarpēju iekārtu datu apmaiņas savietojamību, uzņēmumam iespējami šādi risinājumi:

1. Izvēlēties kādu no ražotāju pilnajiem risinājumiem (skaitītājs + datu nolasīšanas un datu apstrādes sistēmas). Šajā gadījumā ražotājs garantē vienu protokola specifikācijas veidu un savietojamību.
2. Izvēlēties IDIS specifikāciju. Šādā gadījumā komponentu izvēlei (pagaidām) jānotiek starp 3 pretendentiem (Itron, Iskraemeco, Landis+Gyr).
3. Izveidot savu pamata specifikāciju, kas garantēs savietojamību starp dažādu ražotāju skaitītājiem un sistēmām.
4. Iegādāties gatavu DLMS specifikāciju un lietot to uzskaites komponentu izvēlē.

6.2.6. Standarti un metroloģiskās prasības elektroenerģijas skaitītājiem un mērmaiņiem

Prasības elektroenerģijas skaitītāju konstruktīvajam izpildījumam nosaka virkne starptautisko standartu (27):

- IEC 62053-21 Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements – Part 21: Static meters for active energy (classes 1 and 2)
- IEC 62052-11:2002, Electricity metering equipment (a.c.) – General requirements, tests and test conditions – Part 11: Metering equipment
- IEC 62053-11:2003, Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements – Part 11: Electromechanical meters for active energy (classes 0,5, 1 and 2)
- IEC 62053-22:2003, Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements – Part 22: Static meters for active energy (classes 0,2S and 0,5S)
- IEC 62053-23:2003, Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements – Part 23: Static meters for reactive energy (classes 2 and 3)
- IEC 62053-31:1998, Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements – Part 31: Pulse output devices for electromechanical and electronic meters (two wires only)
- IEC 62053-61:1998, Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements – Part 61: Power consumption and voltage requirements
- IEC 62059-11:2002, Electricity metering equipment (a.c.) – Dependability – Part

11: General concepts

- IEC 62059-21:2002, Electricity metering equipment (a.c.) – Dependability – Part 21: Collection of meter dependability data from the field

Lai radītu priekšnoteikumus precīzu un ticamu mērījumu nodrošināšanai valstī un noteiktu prasības reglamentētās metroloģijas jomā, Latvijas Republikā ir pieņemts likums “Par mērījumu vienotību”. Likums nosaka vispārīgās metroloģiskās prasības mērīšanas līdzekļiem un mērīšanas līdzekļu valsts metroloģiskās kontroles jomas.

Valsts metroloģiskajai kontrolei pakļauto mērīšanas līdzekļu sarakstu, norādot atkārtotās verificēšanas periodiskumu, apstiprina Ministru kabinets. Šobrīd indukcijas tipa skaitītājiem tas noteikts 16 gadi, elektroniskajiem skaitītājiem un mērmaiņiem – 12 gadi (28).

Saskaņā ar likumu “Par mērījumu vienotību” mērīšanas līdzekļiem ir noteikti šādi valsts metroloģiskās kontroles veidi (29):

- mērīšanas līdzekļu tipa apstiprināšana;
- pirmreizējā verificēšana;
- atkārtotā verificēšana;
- valsts metroloģiskā uzraudzība.

Lai izvairītos no sarežģītās mērīšanas līdzekļa tipa apstiprināšanas un pirmreizējās verificēšanas procedūras katrā Eiropas savienības dalībvalstī virknei mērīšanas līdzekļu, tajā skaitā elektroenerģijas skaitītājiem, 2004. gadā tika izdota Eiropas parlamenta un padomes direktīva Nr. 2004/22/EK „Par mērinstrumentiem” (turpmāk tekstā – MID direktīva). Direktīva nosaka, ka Dalībvalstis nedrīkst kavēt tādu mērinstrumentu laišanu tirgū un/vai nodošanu ekspluatācijā, kas nodrošināti ar CE atbilstības marķējumu un metroloģisko papildmarķējumu, kas apliecina, ka mērinstruments ražots saskaņā ar šīs direktīvas prasībām.

Atbilstoši direktīvas prasībām skaitītāji tiek iedalīti A, B un C precizitātes klasēs, nosakot, ka elektroenerģijas patēriņa mērījumi iedzīvotājiem veicami ar A vai B klases skaitītājiem, bet pārējiem lietotājiem (tirdzniecības, rūpniecības uzņēmumiem u.c.) ar B vai C klases skaitītājiem (29).

MID direktīvas ieviešana būtiski vienkāršoja skaitītāja kā mērīšanas līdzekļa tipa apstiprināšanas un verificēšanas procedūras, ko pirms direktīvas ieviešanas regulēja katras valsts nacionālā likumdošana. Minētās procedūras bija obligāts nosacījums

skaitītājiem, ko lietoja komercnorēķinos.

Tomēr MID direktīvā nav noteiktas metroloģiskās prasības reaktīvās enerģijas skaitītājiem un mērmaiņiem (strāvmaiņiem un spriegummaiņiem). Šo mērīšanas līdzekļu pārbaudes procedūras noteiktas Latvijas likumdošanā – likumos „Par atbilstības novērtēšanu” un „Par mērījumu vienotību” un saistītajos MK noteikumos.

6.2.7. Prasības uzskaites iekārtu precizitātei

Uzskaites mēraparāta precizitātes klase raksturo maksimāli pieļaujamo skaitītāja kļūdu %, skatītājam strādājot noteiktajos strāvu, spriegumu, temperatūru u.c. diapazonos. Piemēram, skaitītājam ar precizitātes klasi 2, maksimāli pieļaujamā kļūda visā diapazonā ir 2%.

Prasības aktīvās enerģijas skaitītāju precizitātei nosaka MID direktīva, kur definētas A, B un C precizitātes klases aktīvās enerģijas skaitītājiem. Pieļaujamās skaitītāja kļūdas atkarībā no precizitātes klases aplūkojamas tabulā 6.2.

	Darbības temperatūra			Darbības temperatūra			Darbības temperatūra			Darbības temperatūra		
	+ 5° C... + 30° C			10° C... + 5° C vai + 30° C... + 40° C			25° C... 10° C vai + 40° C... + 55° C			40° C... 25° C vai + 55° C... + 70° C		
Skaitītāju klase	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Vienfāzes skaitītājs; trīsfāžu skaitītājs ar simetrisku slodzi												
$I_{\min} \leq I < I_{tr}$	3,5	2	1	5	2,5	1,3	7	3,5	1,7	9	4	2
$I_{tr} \leq I \leq I_{\max}$	3,5	2	0,7	4,5	2,5	1	7	3,5	1,3	9	4	1,5
Trīsfāžu skaitītājs ar vienfāzes slodzi												
$I_{tr} \leq I \leq I_{\max}$, skat. izņēmumu turpmāk tekstā	4	2,5	1	5	3	1,3	7	4	1,7	9	4,5	2

6.2.tabula MPK (%), skaitītājam strādājot nominālajos darbības apstākļos noteiktas slodzes strāvā un noteiktā darbības temperatūrā [10]

Elektromehāniskajiem trīsfāžu skaitītājiem strāvas diapazons vienfāzes slodzei ir

$$5I_{tr} \leq I \leq I_{\max}$$

I - elektriskā strāva, kas plūst caur skaitītāju

$I_{\min}$ - I vērtība, virs kuras kļūda nepārsniedz maksimālo MPK robežu (trīsfāžu skaitītājs ar simetrisku slodzi)

I_{tr} - I vērtība, virs kuras kļūda nepārsniedz minimālo MPK robežu atbilstoši skaitītāja klasei

$I_{\max}$ - I maksimālā vērtība, kuras svārstības nepārsniedz MPK robežas

Reaktīvās enerģijas skaitītājiem un uzskaites mērmaiņiem (strāvmaiņiem un spriegummaiņiem) ir piemērojamas atšķirīgas prasības attiecībā uz metroloģiskās atbilstības novērtēšanu un pārbaūžu veikšanu.

Šiem mērīšanas līdzekļiem saskaņā ar LR likumdošanu veicamas mērīšanas līdzekļa tipa apstiprināšanas un pirmreizējās verificēšanas procedūras.

Latvijas Energostandartā LEK123 „Elektroenerģijas uzskaites ierīkošana” paredzētas šādas precizitātes klases (tabula 6.3.).

Nr. p.k.	Uzskaites grupa	Precizitātes klase ne zemāka kā:		
		Skaitītājs		Mērmaiņi
		Aktīvās enerģijas	Reaktīvās enerģijas	
1.	Starpvalstu savienojumos ar spriegumu 110 kV un augstāku	0,2s	1,0	0,2s
2.	Sistēmas dalībniekiem ar pieslēguma spriegumu 6 kV un augstāku vai jaudu/slodzi lielāku par 1 MW	0,5s (C pēc MID direktīvas)	2,0	0,5
3.	Elektroenerģijas lietotāji ar pieslēgumu vidējā vai augstākā sprieguma tīklā	0,5s (C pēc MID direktīvas)	2,0	0,5
4.	Elektroenerģijas lietotāji ar atļautās slodzes lielumu 100 kW un vairāk	0,5s (C pēc MID direktīvas)	2,0	0,5
5.	Elektroenerģijas lietotāji ar atļautās slodzes lielumu līdz 100 kW	2,0 (B pēc MID direktīvas)	nav	0,5

6.3.tabula Precizitātes nosacījumi uzskaites mēraparātiem [11]

Kontroljautājumi 6.2. nodaļai:

1. Kādās divās grupās tiek iedalīti elektroenerģijas skaitītāji?
2. Kas ir tiešā slēguma skaitītājs?
3. Ar kādu koeficientu jāreizina skaitītāja rādījumi, kurš ieslēgts caur 100/5 A strāvmaiņiem, lai iegūtu korektus uzskaitītās enerģijas datus?
4. Uz ko balstās indukcijas tipa skaitītāja darbība?
5. Aprēķiniet indukcijas skaitītājam pieslēgto elektrisko slodzi, ja tā disks veic 6 apgriezienus minūtē un zināms, ka skaitītāja konstante ir vienāda ar 1000? Cik daudz elektroenerģijas skaitītājs, darbojoties ar šādu slodzi, uzskaitīs 30 minūtēs?
6. Kādas ir galvenās elektroniskā skaitītāja priekšrocības, salīdzinot ar indukcijas tipa skaitītāju?
7. Kāda veida strāvas sensorus izmanto elektroniskajos skaitītājos?
8. Kādas papildus funkcijas nodrošina daudzfunkciju skaitītāji, salīdzinot ar vienkāršiem elektroniskiem skaitītājiem?
9. Kādam nolūkam lieto OBIS kodus?
10. Kāds ir likuma "Par mērījumu vienotību" mērķis?
11. Kāds verificēšanas periodiskums šobrīd Latvijā ir noteikts elektroniskajiem elektroenerģijas skaitītājiem un mērmaiņiem?
12. Kādās precizitātes klasēs tiek iedalīti aktīvās enerģijas skaitītāji saskaņā ar direktīvas Nr. 2004/22/EK „Par mērinstrumentiem” prasībām?
13. Kādai precizitātes klasei jāatbilst mērmaiņiem, kurus uzstāda lietotājiem elektroenerģijas uzskaitēi?

6.3. Elektroenerģijas uzskaites veidi un to ierīkošana***6.3.1. Elektroenerģijas uzskaites veidi, elektroenerģijas komercuzskaites jēdziens***

Saskaņā ar Ministru kabineta „Elektroenerģijas tirdzniecības un lietošanas noteikumiem” uz elektroietaišu piederības robežas (starp sistēmas operatoru un lietotāju vai citu sistēmas dalībnieku) uzstāda sistēmas operatora reģistrētu elektroenerģijas komercuzskaites mērāparātu. Ja elektroenerģijas komercuzskaites mērāparāts nav uzstādīts uz elektroietaišu piederības robežas, sistēmas operators, atbilstoši zudumiem elektrotīklā, kas aprēķināti no elektroietaišu piederības robežas līdz elektroenerģijas komercuzskaites mērāparāta uzstādīšanas vietai, nosaka elektroenerģijas un pakalpojumu apjomu, ko saņem tādi lietotāji, kuru elektroietais pieslēgtas vismaz sešu kilovoltu spriegumam. (31)

Sistēmas operators, vienojoties ar lietotāju, piegādātās elektroenerģijas un pakalpojumu apjomu pagaidu pieslēgumam (līdz trijiem mēnešiem) vai vienfāzes pieslēgumam ar ievadaizsardzības aparāta strāvas lielumu līdz 10 ampēriem drīkst aprēķināt bez elektroenerģijas komercuzskaites mērāparāta uzstādīšanas (31).

Atkarībā no funkcijas, ko pilda elektroenerģijas uzskaitē, izšķir 2 galvenos tās veidus: elektroenerģijas komercuzskaitē – mērīšanas līdzeklis vai mērīšanas līdzekļu sistēma elektroenerģijas daudzuma un sistēmas pakalpojumu uzskaitē norēķinu vajadzībām; tehniskā uzskaitē – elektroenerģijas uzskaitē, kas paredzēta tehniskiem nolūkiem un netiek izmantota norēķinu vajadzībām.

Šajā mācību palīglīdzeklī aprakstītās prasības attiecas uz elektroenerģijas komerc - uzskaitēm, tomēr tās var tikt piemērotas arī cita veida skaitītājiem.

6.3.2. Elektroenerģijas uzskaites izbūves pamatprincipi

Elektroenerģijas uzskaitē starp sistēmas operatoru un elektroenerģijas lietotāju, ražotāju vai citu elektroenerģijas sistēmas operatoru ierīko pēc iespējas uz elektroietaišu piederības robežas. Elektroenerģijas uzskaitē ierīko un uztur sistēmas operators.

Elektroenerģijas uzskaitē ierīko sistēmas operatora personālam brīvi pieejamā vietā, izvēloties tehniski un ekonomiski izdevīgāko risinājumu un saskaņojot to ar lietotāju. Mājsaimniecības lietotājiem elektroenerģijas uzskaitē ierīko ārpus lietotāja telpām vai teritorijas, bet daudzdzīvokļu dzīvojamajās mājās – ārpus dzīvokļiem. Elektroenerģijas uzskaites komponentus (skaitītājs, mērmaiņi, ievadaizsardzības aparāts, vadojums u.c.) izvieto speciāli šim nolūkam paredzētā uzskaites sadalnē, izņemot uzskaites ar darba spriegumu virs 1000 V un uzskaites, ko ierīko transformatoru apakšstacijās un sadalietaišu telpās (32).

Katrā uzskaites vietā uzskaites mēraparātu tipu un raksturlielumus izvēlas atbilstoši uzstādītā ievadaizsardzības aparāta nominālās strāvas lielumam, lietotāja izvēlētajam tarifa variantam un citiem faktoriem (paredzētajai uzstādīšanas vietai, automatizētas uzskaites sistēmas ierīkošanas nepieciešamībai u.c.). (32)

Elektroenerģijas uzskaitē zemsprieguma tīklā ar darba strāvu līdz 120A ierīko ar tiešā slēguma elektroenerģijas skaitītāju bez mērmaiņiem. Rekomendējamā ievadaizsardzības aparāta nominālā strāva vienfāzes pieslēgumam – līdz 25A, tehniski pamatotos gadījumos – līdz 40A. (32)

6.3.3. Uzskaites sastāvdaļas

Elektroenerģijas skaitītājam ir jāatbilst Latvijas Republikā pieņemto vai adaptēto Eiropas standartu un MID direktīvas prasībām.

Tiešā slēguma elektroenerģijas uzskaitē lieto A vai B klases aktīvās enerģijas skaitītājus

(ja nepieciešams – aktīvās un reaktīvās enerģijas skaitītājus):

- Vienfāzes skaitītājus ar nominālo strāvu 5 vai 10A un darba strāvu līdz 40 vai 60A;
- trīsfāžu aktīvās enerģijas skaitītājus ar nominālo strāvu 5 vai 10A un darba strāvu līdz 60, 80, 100, vai 120A;

Elektroenerģijas uzskaitē ar darba strāvu, kas lielāka par 120A vai darba spriegumu, kas lielāks par 1000V, lieto trīsfāžu B vai C klases aktīvās un reaktīvās enerģijas skaitītājus ar nominālo strāvu 1 vai 5A un darba strāvu līdz 2A vai 6A slēgumā ar mērmaiņiem. Ja nepieciešama aktīvās un reaktīvās enerģijas uzskaitē vai uzskaitē vairāk kā divās tarifu zonās, lieto 4-kvadrantu (divu virzienu aktīvās un reaktīvās enerģijas uzskaitē) daudztarifu skaitītājus ar iekšēju pulksteņslēdzi un slodzes profila reģistrāciju skaitītāja atmiņā (32).

Elektroenerģijas uzskaitē izmanto sekojošus uzskaites mērmaiņus:

- zemsprieguma strāvmaiņus ar sekundārās strāvas lielumu 5A un jaudu no 5 - 12 VA;
- vidsprieguma / augstsprieguma strāvmaiņus ar sekundārās strāvas lielumu 5A vai 1A un sekundārā tinuma jaudu, ne mazāku kā 30 VA;
- vidsprieguma / augstsprieguma uzskaitēs – spriegummaiņus ar sekundāro līnijas spriegumu 100V (fāzes spriegumu 57.7V).

Uzskaites sadalne paredzēta uzskaites elementu izvietojumam un aizsardzībai pret apkārtējās vides iedarbību. Tā konstruktīvi nodrošina uzskaites un pirmuzskaites ķēžu plombēšanu, izslēdzot piekļuvi uzskaites iekārtām un vadojumam un iejaukšanos uzskaites darbībā, nesabojājot plombējumu. Uzskaites sadalne jāizveido ar iespējami mazu plombēšanas vietu skaitu, nodrošinot plombēšanai izvirzītās prasības.

Uzskaites sadaļņu aizsargzemēšanu ierīko atbilstoši standarta LEK 069 “0,4 kV uzskaites sadaļņu zemēšanas principi un noteikumi” prasībām un standartam LEK 048 “Elektroietaišu zemēšana un elektrodrošības prasības”.

Vispārīgās prasības uzskaites sadalnēm (32):

- Uzskaites sadalnes vadojums jāizpilda TN-C-S sistēmā atbilstoši aprēķina slodzei, bet ne mazākai kā 32A. Vadu izolācijas darba spriegumam jābūt ne mazākam kā 600 V
- darba nullvada savienojums nedrīkst būt pārtraukts un savienots caur skaitītāja pieslēgspailēm;

- sadalnē jābūt uzstādītai PE un N kopnei;
- sadalnēs, kurās uzstāda vairākus elektroenerģijas skaitītājus, jābūt kopējam ievadaizsardzības vai atslēdzošam aparātam, kā arī atsevišķam ievadaizsardzības aparātam katram lietotājam;
- mērmaiņu sekundārie tinumi jāsavieno ar uzskaiti tā, lai sprieguma zudumi sekundārās ķēdēs nepārsniegtu 0,25%, kā arī līdz minimumam jāsamazina savienojumu skaits;
- skaitītāju pieslēgšanai jāizmanto viendzīslas vai daudzdzīslu vara vadi ar šķērsgriezumu, ne mazāku par 2,5 mm², daudzdzīslu vadiem lietojot speciālus uzgaļus (čaulas);
- sadalnē pie skaitītāja un aizsardzības aparātiem jābūt uzrakstam ar dzīvokļa nr., mājas nosaukumu vai adresi, uz kuru attiecas konkrētais skaitītājs vai aizsardzības aparāts;
- elektroenerģijas skaitītāju uzstādīšanas augstumam jābūt 0.8 – 1.7 m, skaitot no grīdas vai zemes līdz pieslēgpailēm;
- sadalnē jāparedz visu pirmsuzskaites ķēžu, tajā skaitā, ievadaizsardzības aparāta plombēšana, uzstādot pirmsuzskaites ķēdes aiz noplombējama ekrāna;
- automātslēdžu piedziņas rokturiem jābūt pieejamiem darbināšanai bez plombējuma bojāšanas.

Ievada aizsardzības aparāts

Lai nodrošinātu lietotāja atļautās slodzes ierobežošanu un aizsargātu elektroenerģijas sistēmu no pārslodzes zemsprieguma pieslēgumos, pirms elektroenerģijas uzskaites lietotāja elektroietaisies ievadā uzstāda ievadaizsardzības aparātu.

Kā ievadaizsardzības aparāti zemsprieguma elektrotīkla pieslēgumos var tikt izmantoti (32):

- kūstošie drošinātāji (pārsvarā E27 un NH tipa);
- automātslēdži ar kombinēto pārslodzes un īsslēguma atkabi;
- selektīvās darbības automātslēdži;
- elektroenerģijas skaitītāji ar iebūvētu slodzes ierobežošanas ierīci.

Ievadaizsardzības aparātus uzstāda tikai fāzes pievienojumos, automātslēdži var būt vienpolīgi, savienoti divpolīgi vai savienoti trīspolīgi.

Pieslēgumos ar darba strāvu līdz 100A kā ievadaizsardzības aparātus var izmantot šādu tipu automātslēdžus (32):

- elektroietaisēs, kur nepieciešams īslaicīgi nodrošināt paaugstinātu strāvu (asinhrono elektrodzinēju palaišanai u.c.), kā arī elektroietaisēs ar aktīvu un

- reaktīvu slodzi – automātslēdžus ar „C” vai „D” raksturlīknēm;
- elektroietaisēs ar aktīvu slodzi (sildelementi, kvēlspuldzes u.c.) un darba strāvu, kas lielāka par 63 A – automātslēdžus ar „B” raksturlīkni;
- atbilstošu selektīvās darbības automātslēdzi.

Dzīvojamo māju elektroietaisēs kā pirmsuzskaites aizsardzības aparātus ieteicams izmantot „C” raksturlīknes automātslēdžus.

Automātslēdžiem jāatbilst Eiropas standartu *EN 60898 / VDE 0641 part 1* prasībām.

Elektroietaisēs ar atļauto strāvas lielumu virs 100A kā ievadaizsardzības aparātus lieto drošinātājus vai automātslēdžus ar regulējamu vai neregulējamu nostrādes strāvu. (32)

Augstsprieguma un vīdsprieguma pieslēgumos neuzstāda speciālus ievadaizsardzības aparātus, bet reģistrē lietotāja faktisko slodzes grafiku, izmantojot atbilstošu daudzfunkciju elektroenerģijas skaitītāju. (32)

Komutācijas kārbas un pārbaudes bloki

Lai varētu veikt darbus pie elektroenerģijas skaitītājiem slēgumā ar mērmaiņiem, nepārtraucot elektroenerģijas piegādi lietotājam, starp mērmaiņiem un skaitītāju slēdz komutācijas kārbu vai pārbaudes blokus. Ar šo ierīču palīdzību pirms darbu veikšanas elektroenerģijas skaitītāja ķēdēs atvieno pie skaitītāja pienākošo spriegumu un šuntē (saslēdz īsi) strāvmaiņu sekundārās ķēdes. (32)

Komutācijas kārbai jābūt izgatavotai no nedegošas plastmasas, kontaktiem un skrūvēm jābūt ar pretkorozijas pārklājumu. Jāparedz komutācijas kārbas vai pārbaudes bloku plombēšana. (32)

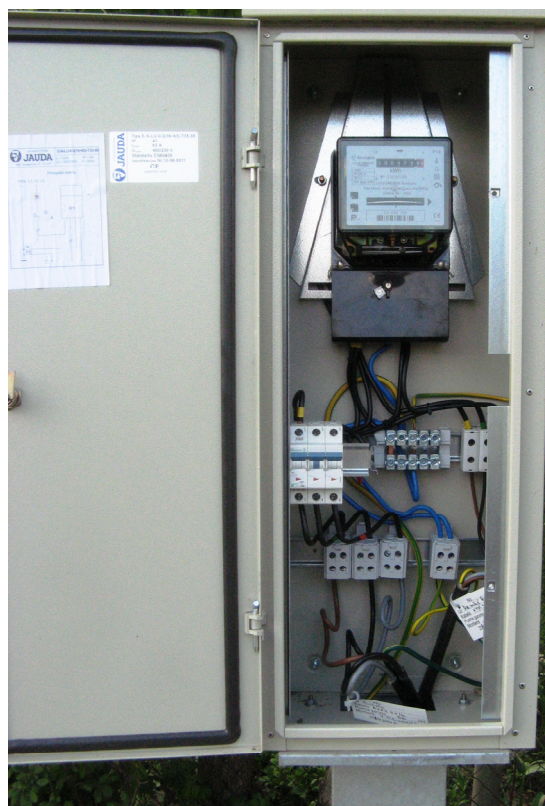
6.3.4. Uzskaites izbūves pamatprincipi

Elektroenerģijas uzskaiti starp sistēmas operatoru un elektroenerģijas lietotāju, ražotāju vai citu sistēmas operatoru ierīko pēc iespējas uz elektroietaišu piederības robežas. (32)

Elektroenerģijas uzskaiti starp sistēmas operatoru un elektroenerģijas lietotāju vai ražotāju ierīko un uztur sistēmas operators. Elektroenerģijas uzskaiti starp dažādu sistēmu operatoriem ierīko un uztur sistēmas operators, kas piegādā elektroenerģiju otram sistēmas operatoram. (32)

Elektroenerģijas uzskaiti ierīko sistēmas operatora personālam brīvi pieejamā vietā, izvēloties tehniski un ekonomiski izdevīgāko risinājumu un to savstarpēji saskaņojot. Mājsaimniecības lietotājiem elektroenerģijas uzskaiti ierīko ārpus lietotāja telpām vai teritorijas, bet daudzdzīvokļu dzīvojamās mājās – ārpus dzīvokļiem.

Individuālās mājās, ja īpašuma teritorija ir iežogota, elektroenerģijas uzskaiti ierīko publiski pieejamā vietā, pie īpašuma robežas (attēls 6.8.). Ja īpašuma teritorija nav nožogota, elektroenerģijas uzskaiti ierīko ēkas ārpusē pie tās sienas vai uz atsevišķas pamatnes. Elektroenerģijas uzskaites ierīkošana nožogotā teritorijā pieļaujama, ja iespējama elektroenerģijas skaitītāja datu nolasīšana bez nepieciešamības iekļūt šajā teritorijā. (32)



6.8.attēls. Ārpus lietotāja teritorijas uzstādīta individuālā uzskaites sadalne

Daudzdzīvokļu dzīvojamajās mājās līdz 6 stāviem (ieskaitot) uzskaiti ierīko atsevišķā telpā ēkas pagrabstāvā, 1. stāvā, vai ārpusē pie mājas (attēls 6.9.).

Ēkās ar 7 un vairāk stāviem piemērojami šādi risinājumi (32):

- uzskaitē jāierīko atsevišķā telpā ēkas pagrabstāvā, 1. stāvā, vai ārpusē pie mājas;
- īpašā, šim nolūkam paredzētā telpā katrā stāvā, vai vienā telpā, apvienojot vairāku stāvu dzīvokļu uzskaites;
- stāvā izbūvētā speciālā nišā vai ailē, kurā izvietojamas uzskaites ierīkošanai nepieciešamās inženiertehniskās komunikācijas, ieskaitot stāvvadus.



6.9. attēls. Daudzdzīvokļu uzskaites sadalne, uzstādīta ārpusē pie mājas sienas

Elektroenerģijas uzskaites komponenti (skaitītājs, mērmaiņi, ievadaaizsardzības aparāts, vadojums u.c.) jāizvieto speciāli šim nolūkam paredzētā uzskaites sadalnē, izņemot uzskaites ar darba spriegumu virs 1000 V un uzskaites, ko ierīko transformatoru apakšstacijās un sadalietaišu telpās. Katrā uzskaites vietā uzskaites mēraparātu tipu un raksturlielumus izvēlas atbilstoši uzstādītā ievadaaizsardzības aparāta nominālās strāvas lielumam, lietotāja izvēlētajam tarifa variantam un citiem faktoriem (paredzētajai uzstādīšanas vietai, automatizētas uzskaites sistēmas ierīkošanas nepieciešamībai u.c.). (32)

Elektroenerģijas uzskaiti zemsprieguma tīklā ar darba strāvu līdz 100A (atsevišķos gadījumos, uzstādot indukcijas tipa skaitītāju, līdz 120A) ierīko ar tiešā slēguma elektroenerģijas skaitītāju, bez mērmaiņiem. (32)

Dzīvokļa, individuālās mājas vai dārza mājas ievadaaizsardzības aparāta strāvu izvēlas pēc aprēķina slodzes, bet ne mazāku par 16 A. Rekomendējamā ievadaaizsardzības aparāta nominālā strāva vienfāzes pieslēgumam – līdz 25A, tehniski pamatotos gadījumos – līdz 40A (32).

Komercuzskaites ķēdēs nedrīkst būt ieslēgtas iekārtas, kas nav nepieciešamas uzskaites darbībai. Tehniski un ekonomiski pamatotos gadījumos pieļaujama uzskaites spriegummaiņa izmantošana arī citiem mērķiem (aizsardzībai, signalizācijai, mērījumiem). Šajā gadījumā tā noslodzi reglamentē komercuzskaites precizitātes klases prasības. Komercuzskaitei atļauts izmantot vairāktinumu strāvmaiņa atsevišķu tinumu ar uzskaites prasībām atbilstošu precizitātes klasi. (32)

Uzskaites iekārtās ar caurplūstošās elektroenerģijas apjomu vairāk kā 1 000 GWh gadā uz uzskaites punktu, uzskaitē jāparedz atsevišķa strāvmaiņa serde, kuru nedrīkst izmantot citā nolūkā, ja par to nav savstarpējas vienošanās. (32)

Vidsprieguma un augstsprieguma tīklā ierīko elektroenerģijas uzskaiti ar mērmaiņiem – strāvmaiņiem un spriegummaiņiem. Uzskaitē izmanto elektronisko skaitītāju ar nominālās strāvas lielumu 1 vai 5 A. Strāvmaiņus uzstāda visās trijās pieslēguma fāzēs. Kabeļu tīklā, kā arī, ja pēcuzskaites ķēdēs ierīkota aizsardzība pret zemesslēgumu, pieļaujams strāvmaiņus uzstādīt divās no trijām pieslēguma fāzēm. (32)

Uzskaites spriegummaiņiem iespējami sekojoši slēguma varianti (32):

- viens trīsfāžu spriegummainis;
- trīs vienfāzes spriegummaiņi ar zvaigznē slēgtiem sekundāriem tinumiem;
- divi divfāžu spriegummaiņi, ieslēgti starp fāzēm.

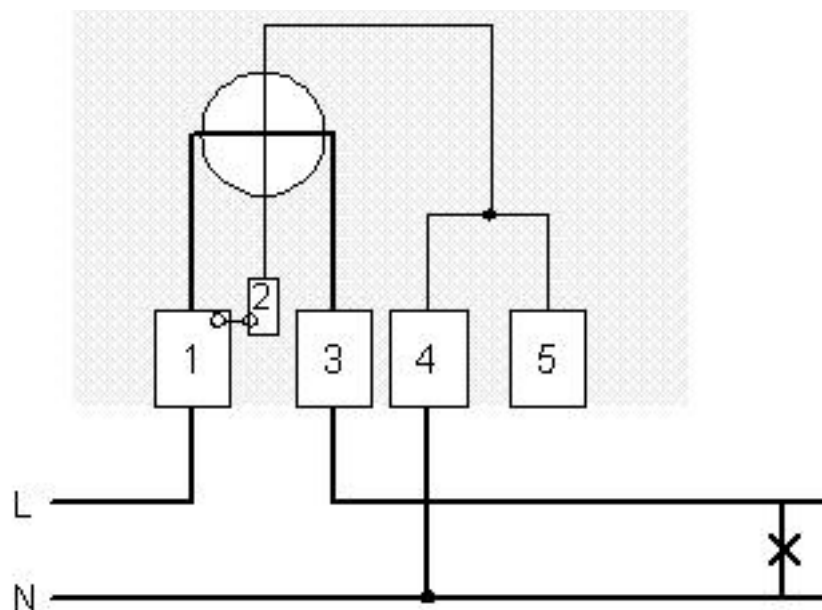
Uzskaitē atļauts lietot daudztinumu mērmaiņus un mērmaiņus, kur vienā korpusā apvienots strāvmainis un spriegummainis. Mērmaiņu uzskaites tinumam nav atļauts pievienot citas iekārtas. (32)

Nav pieļaujamas atkāpes no mērmaiņiem tehniskajos parametros uzrādītajām sekundāro slodžu nominālajām vērtībām, kurās tiek nodrošināta mērījumu precizitāte atbilstoši mērmaiņu precizitātes klasei. (32)

Spriegummaiņu sekundārajās ķēdēs pieļaujams sprieguma kritums ne vairāk par 0,25 %, bet uzskaites strāvmaiņu sekundāro ķēžu noslodze nedrīkst pārsniegt to nominālās vērtības. Strāvmaiņu sekundārā tinumā plūstošā strāva pie maksimālās pieslēguma strāvas nedrīkst būt mazāka par 40 % no skaitītāja nominālās strāvas. (32)

Elektroenerģijas uzskaites tipveida pieslēguma shēmas

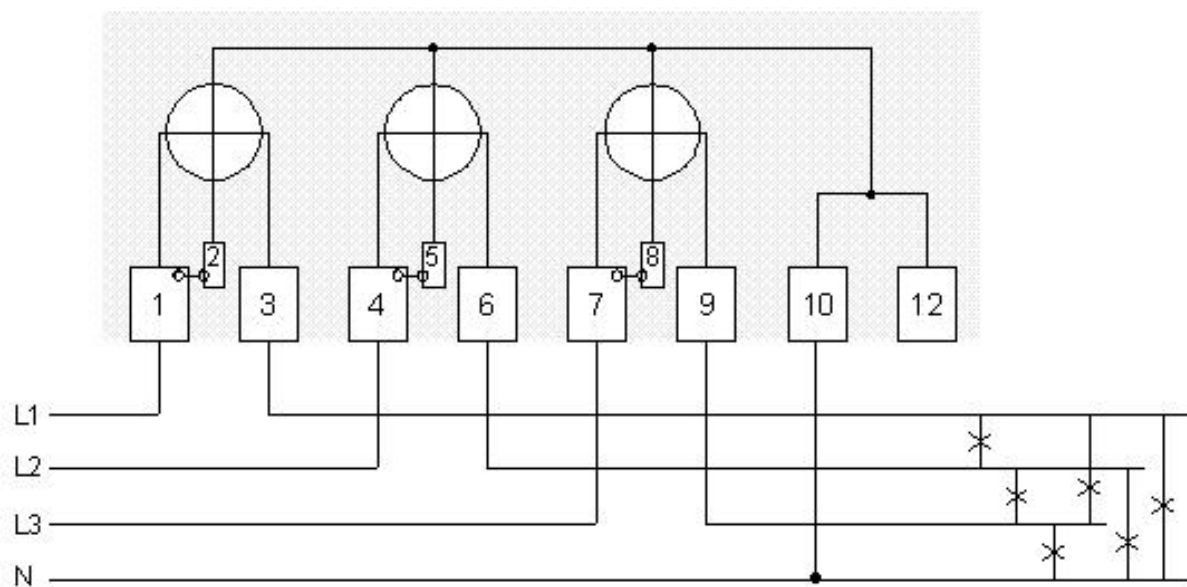
Tipveida pieslēguma shēma vienfāzes elektroenerģijas skaitītājiem. (32)



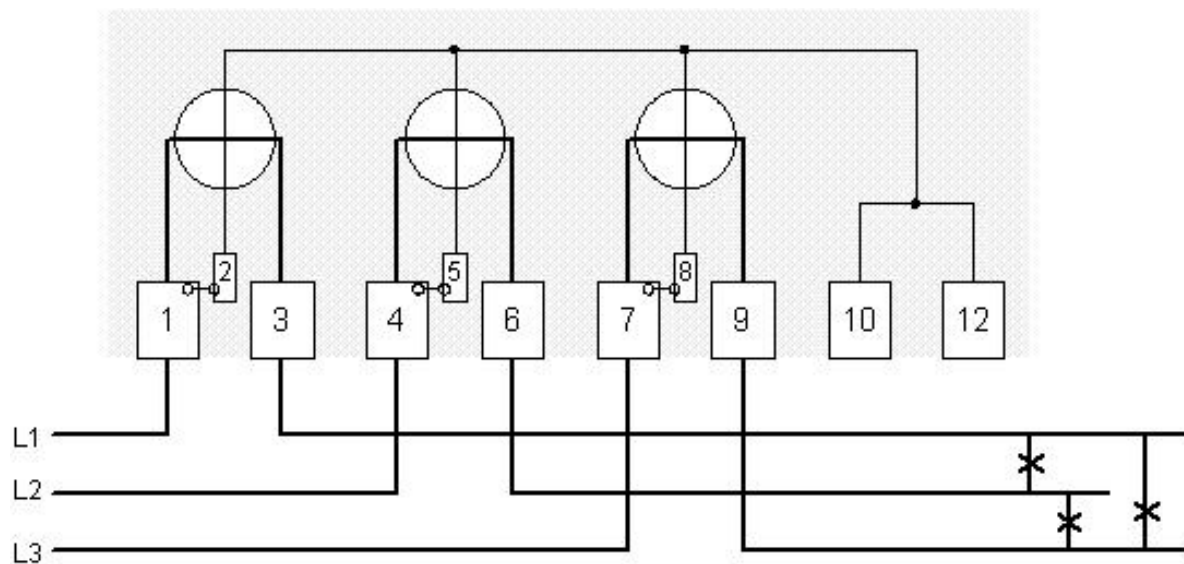
6.10. attēls. Vienfāzes elektroenerģijas skaitītāja pieslēgums

Tipveida pieslēguma shēmas trīsfažu tiešā slēguma elektroenerģijas skaitītājiem(32).

Latvijā šobrīd tiek izmantoti zemsprieguma trīsfažu trīsvadu ($3 \times 220\text{V}$) un četrvadu ($400/230\text{V}$) elektrotīkli. Trīsvadu elektrotīkls pakāpeniski tiek aizstāts ar četrvadu elektrotīklu.

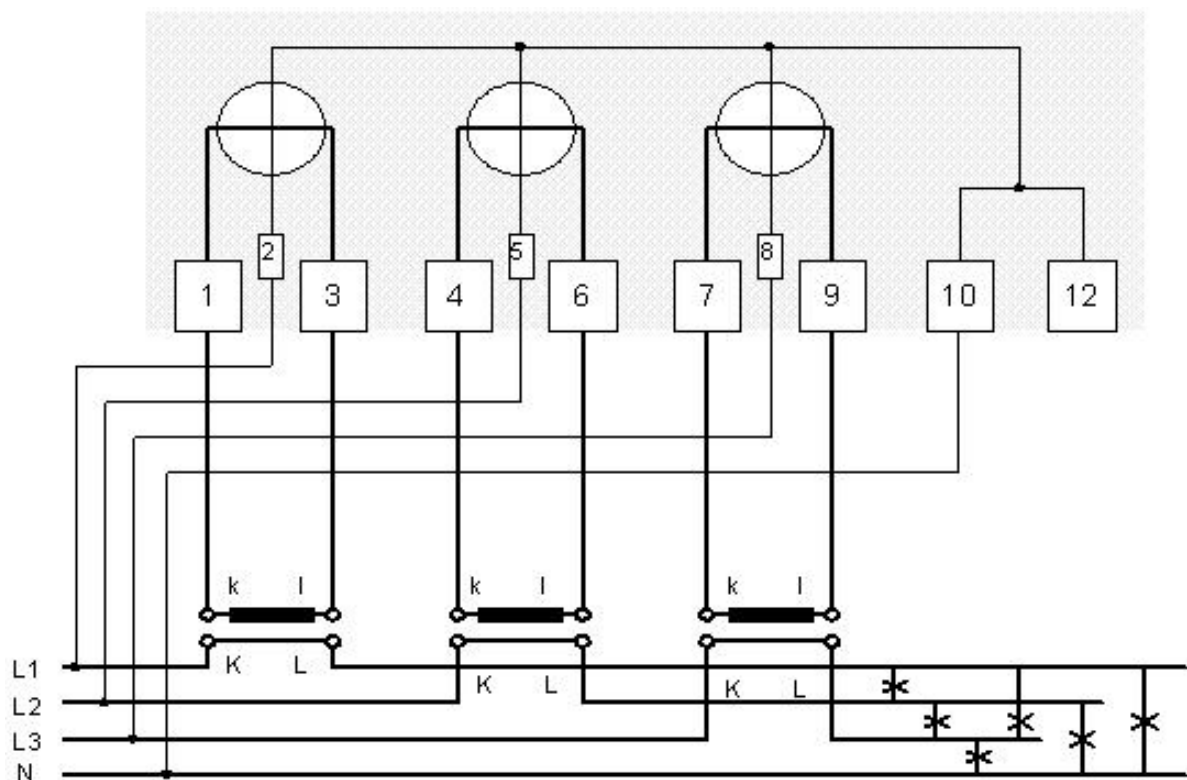


6.11. attēls. Trīsfažu elektroenerģijas skaitītāja pieslēguma shēma četrvadu elektrotīklā

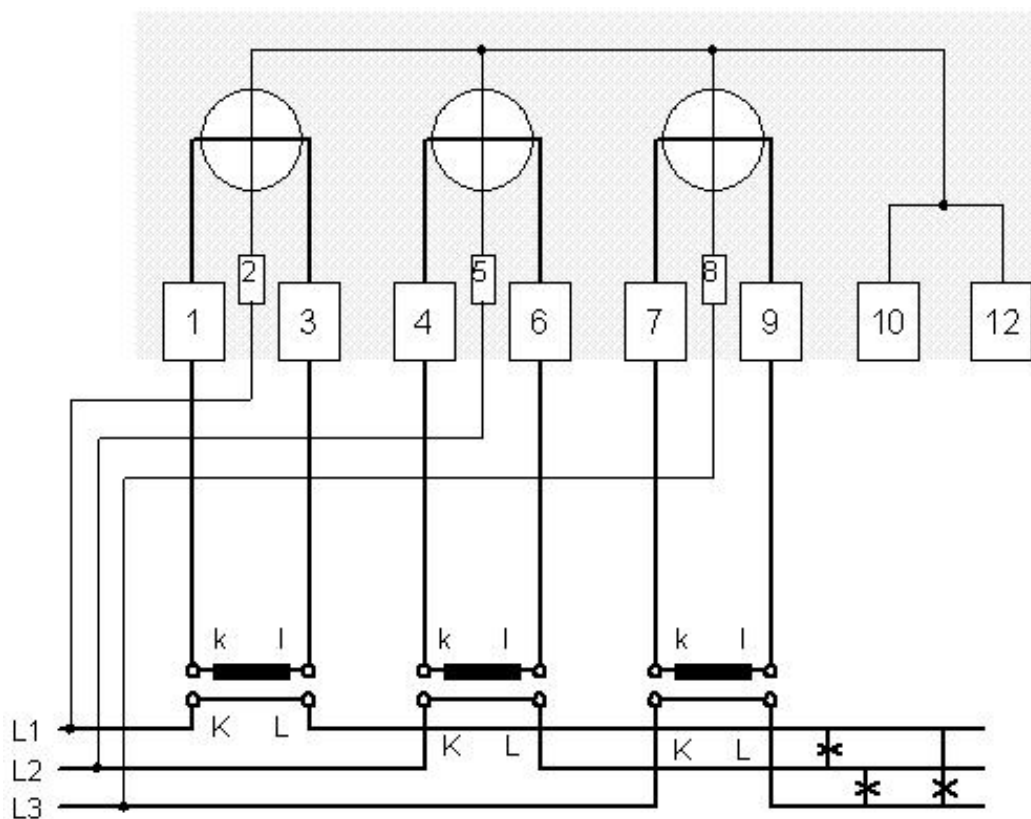


6.12. attēls. Trīsfāžu elektroenerģijas skaitītāja pieslēguma shēma trīs vadu elektrotīklā

Tipveida pieslēguma shēmas trīsfāžu elektroenerģijas skaitītājiem slēgumā ar strāvmaiņiem zemsprieguma tīklā. (32)

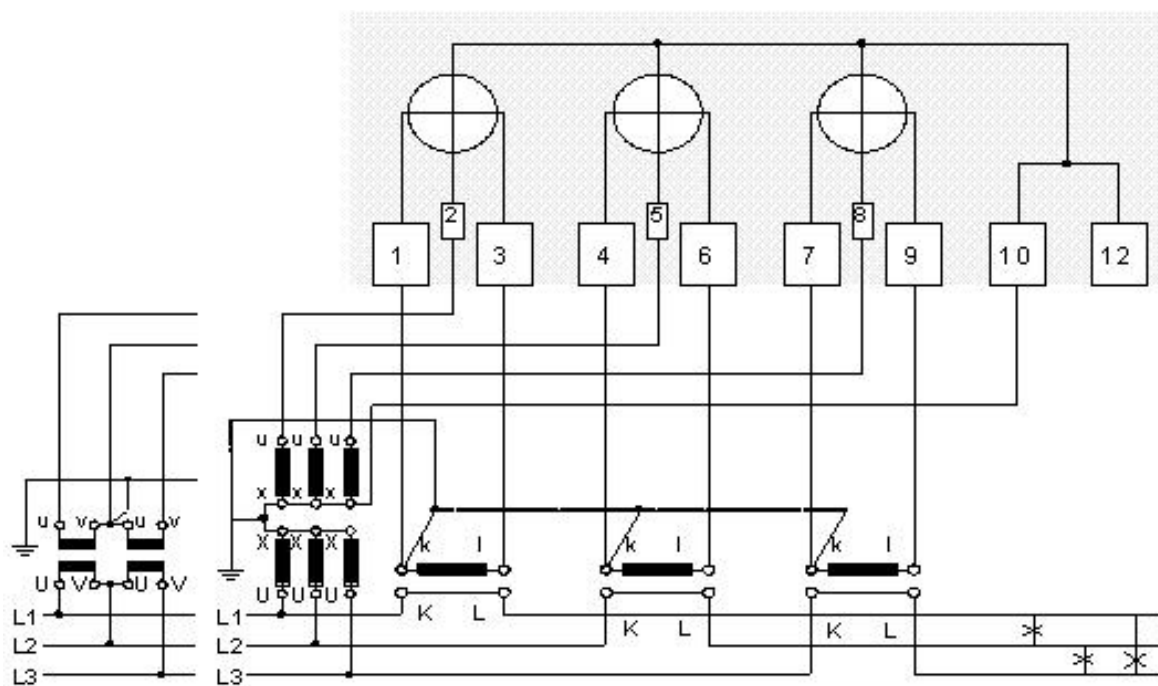


6.13.attēls. Trīsfāžu elektroenerģijas skaitītāja ar mērmaiņiem pieslēguma shēma četr vadu elektrotīklā

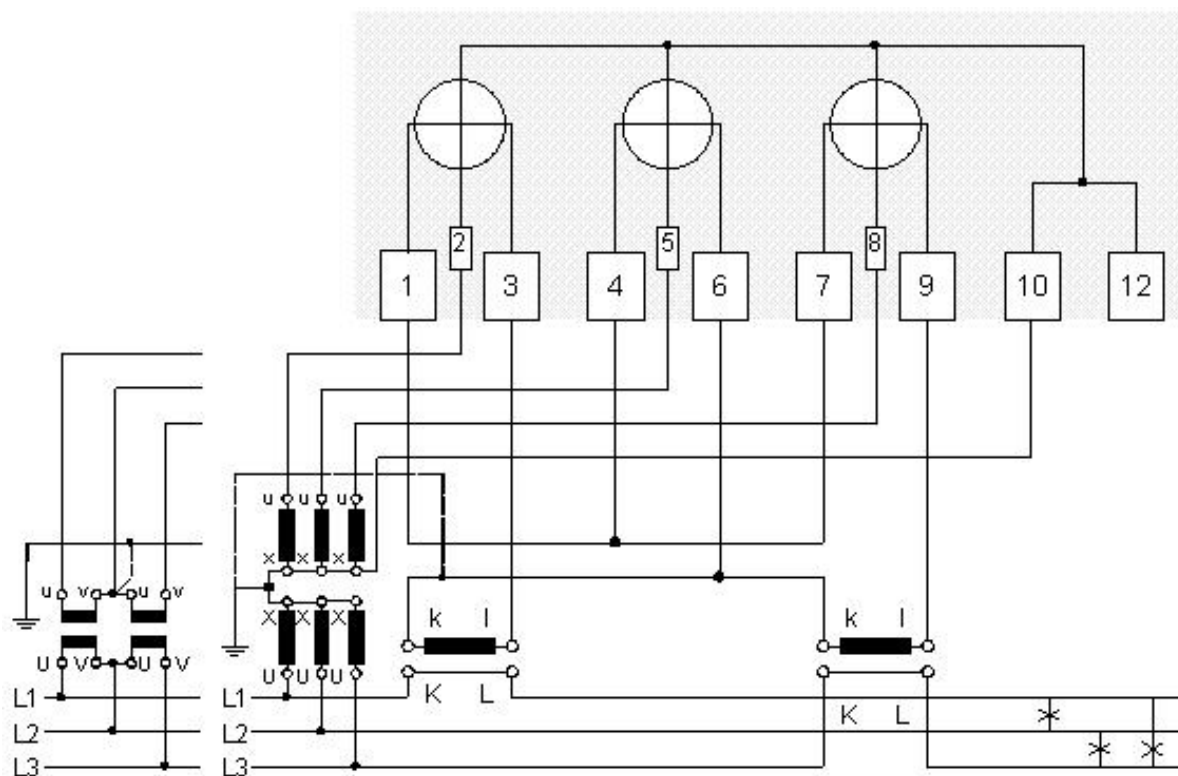


6.14. attēls. Trīsfāžu elektroenerģijas skaitītāja ar mērmaiņiem pieslēguma shēma trīsvadu elektotīklā

Tipveida pieslēguma shēmas trīsfāžu elektroenerģijas skaitītājiem slēgumā ar mērmaiņiem vidējā un augstākā sprieguma tīklā. (32)



6.15. attēls. Trīsfāžu elektroenerģijas skaitītāja ar mērmaiņiem pieslēguma shēma



6.16. attēls. Trīsfāžu elektroenerģijas skaitītāja ar mērmaiņiem pieslēguma shēma

Kontroljautājumi 6.3. nodaļai.

1. Kādas ir Ministru kabineta „Elektroenerģijas tirdzniecības un lietošanas noteikumu” prasības attiecībā uz elektroenerģijas komercuzskaites mērāparāta uzstādīšanas vietu?
2. Ko saprot ar jēdzienu elektroenerģijas „tehniskā uzskaitē”?
3. Kas ierīko un uztur elektroenerģijas uzskaiti?
4. Kāds ir standarta sekundārās strāvas nominālais lielums zemsprieguma strāvmaiņiem?
5. Kādas funkcijas pilda uzskaites sadalne?
6. Kādai darba strāvai jābūt paredzētam uzskaites sadalnes vadojumam?
7. Kādas raksturlīknes automātslēdžus ieteicams izmantot kā pirmsuzskaites aizsardzības aparātus dzīvojamo māju elektroietaisēs?
8. Kādam mērķim uzskaites ķēdēs uzstāda komutācijas kārbas un pārbaudes blokus?
9. Kur ierīko elektroenerģijas uzskaiti mājāsaimniecības lietotājiem?
10. Kā izvēlas ievadaizsardzības aparāta strāvu dzīvokļiem, individuālām vai dārza mājām?
11. Kāds ir maksimālais pieļaujamais sprieguma kritums spriegummaiņu sekundārajās ķēdēs?

6.4. Prasības elektroenerģijas uzskaites ekspluatācijai.

6.4.1. Pamatprasības darba organizācijai un personālam

Veicot darbus elektroietaisēs, pamatprasības darba organizācijai un personālam nosaka Latvijas Elektrotehniskās komisijas izdots energostandarts LEK025 „Drošības prasības, veicot darbus elektroietaisēs”. Visām personām, kuras strādā darbā esošās elektroietaisēs, jāzina un jāprot izpildīt minētā standarta un darba aizsardzības instrukciju prasības, kas saistītas ar izpildāmo darbu.

Šiem darbiniekiem nepieciešams sekmīgi nokārtot zināšanu pārbaudi un iegūt A, B vai C elektrodrošības grupu.

Darbus elektroietaisē, atkarībā no darba veida un rakstura, var veikt (33):

- **instruēts darbinieks** – darbinieks, kurš saņēmis instruktāžu par elektrobīstamības jautājumiem. Instruēts darbinieks strādā kāda apmācīta vai kvalificēta darbinieka uzraudzībā vai, ja ieguvis A elektrodrošības grupu, var patstāvīgi veikt noteikta apjoma darbus.
- **apmācīts darbinieks** – darbinieks, kurš apguvis augstsprieguma vai zemsprieguma elektrodrošības apmācības kursu, pēc nepieciešamā praktiskā darba perioda kvalificētas personas uzraudzībā izturējis zināšanu pārbaudi un ieguvis B elektrodrošības grupu zemspriegumā vai augstspriegumā.
- **kvalificēts darbinieks** – darbinieks, kuram ir vismaz 2. profesionālās kvalifikācijas līmenim atbilstoša kvalifikācija, kas saistīta ar elektrozinību apgūšanu, un kurš pēc nepieciešamā praktiskā darba perioda, strādājot elektroietaisē ar B elektrodrošības grupu, izturējis zināšanu pārbaudi un ieguvis **C elektrodrošības grupu** zemspriegumā vai augstspriegumā.

Instruētiem darbiniekiem darbā esošā elektroietaisē atļauts strādāt tikai kvalificēta vai apmācīta personāla tiešā uzraudzībā. (33)

Patstāvīgu darbu var veikt personas, kas sasniegušas 18 gadu vecumu, Ministru kabineta noteiktajā kārtībā izgājušas medicīnisko pārbaudi un saņēmušas slēdzienu par personas veselības stāvokļa atbilstību veicamajam darbam elektroietaisēs. (33)

Atkarībā no darba veida, elektroietaisēs konstruktīvajām īpatnībām un izmantotajām darba metodēm tiek lietots kāds no šādiem darba veidiem (33):

- darbs pie atslēgta sprieguma,
- spriegumaktīvs darbs,
- darbs spriegumaktīvu daļu tuvumā,
- darbs norobežotā teritorijā.

Darbus elektroietaisē izpilda saskaņā ar (33):

- izsniegto norīkojumu,
- doto rīkojumu,
- darba aizsardzības un ekspluatācijas instrukcijām.

Lai nodrošinātu drošu darba veikšanu elektroietaisēs, tiek nozīmētas šādas atbildīgās personas (33):

- atbildīgais par elektroietaisē ekspluatāciju,
- atbildīgais par darba organizāciju,
- atbildīgais par darba izpildi,
- atļaujas devējs darba vietas sagatavošanai un pielaišanai pie darba,
- pielaidējs,
- uzraugs.

Darbiniekiem pēc zināšanu pārbaudes par konkrēto elektroietaišu konstruktīvām, ekspluatācijas un remonta procesa īpatnībām, ievērojot viņu kvalifikāciju un pienākumus, ar elektroietaisē valdītāja rīkojumu piešķir šo atbildīgo personu tiesības. (33)

6.4.2. Prasības darbu veikšanai ar elektroenerģijas skaitītājiem

Darbi elektroenerģijas uzskaites ķēdēs atkarībā no darba apstākļiem jāizpilda pēc norīkojuma, rīkojuma vai darba aizsardzības un ekspluatācijas instrukcijām.

Darbi elektroenerģijas uzskaites ķēdēs ar elektroenerģijas skaitītāju un mērmaiņu nomaiņu tiek veikti pie atslēgta sprieguma. Lai atvieglotu darbu ar elektroenerģijas skaitītāju nomaiņu, vēlams tos pieslēgt caur kontaktu kārbām vai pārbaudes blokiem, kas nodrošina sprieguma noņemšanu no elektroenerģijas skaitītāja pieslēgspailēm un strāvmaiņu sekundāro tinumu izvadspaiļu saslēgšanu īsi. (33)

Augstsprieguma elektroietaisēs

Augstsprieguma elektroietaisēs darbus elektroenerģijas uzskaites ķēdēs atļauts veikt diviem darbiniekiem – kvalificētam atbildīgajam par darba izpildi un vismaz apmācītam brigādes loceklim pēc norīkojuma, pie atslēgta sprieguma.

Ja elektroenerģijas skaitītāja ķēdēs ieslēgti pārbaudes bloki, darbus ar elektroenerģijas skaitītājiem atļauts veikt vienam vismaz apmācītam darbiniekam, neatslēdzot spriegumu mērmaiņu primārajās ķēdēs, pie nosacījuma, ka šīs uzskaites ķēdes izvietotas telpās, kurās neatrodas spriegumaktīvas augstsprieguma daļas, vai tās ir pilnīgi nožogotas, vai novietotas tādā augstumā, ka nožogojums nav nepieciešams. (33)

Zemsprieguma elektroietaisēs

Zemsprieguma elektroietaisēs darbus elektroenerģijas uzskaites ķēdēs, slēgumā ar mērmaiņiem, atļauts veikt diviem vismaz apmācītiem darbiniekiem pie atslēgta sprieguma.

Ja elektroenerģijas skaitītāja ķēdēs ieslēgti pārbaudes bloki, darbus ar elektroenerģijas skaitītājiem atļauts veikt vienam vismaz apmācītam darbiniekam, neatslēdzot spriegumu mērmaiņu primārajās ķēdēs.

Darbus tiešā slēguma (bez mērmaiņiem) elektroenerģijas uzskaites ķēdēs atļauts izpildīt vienam vismaz apmācītam darbiniekam pie atslēgta sprieguma.

Lietotāja zemsprieguma elektroietaisēs, bez apkalpojošā personāla, darbus elektroenerģijas uzskaites ķēdēs izpilda elektroenerģijas piegādātāja personāls, ievērojot šīs sadaļas prasības, to iepriekš saskaņojot ar elektroenerģijas lietotāju. (33)

6.4.3. Uzskaites ekspluatācijas darbi un to periodiskums

Uzskaites ekspluatācija ietver skaitītāja rādījumu nolasīšanu, plānotās un neplānotas vizuālās un instrumentālās pārbaudes, mērlīdzekļu atkārtotu verifikāciju un bojāto mērlīdzekļu nomaiņu.

Plānveida elektroenerģijas uzskaites vizuālās pārbaudes veic 1 reizi 2 gados.

Neplānotas elektroenerģijas uzskaites vizuālās pārbaudes veic, apmeklējot elektroenerģijas uzskaiti rādījumu iegūšanai vai pēc lietotāja iniciatīvas.

Skaitītāja vizuālās pārbaudes laikā pārliedzinās par skaitītāja, mērmaiņu un ievada aizsardzības aparāta parametru atbilstību dokumentācijā norādītajiem, plombējuma veselumu un atbilstību, vizuāli novērtē skaitītāja darbību un bojājumu pazīmju neesamību, reģistrē skaitītāja rādījumu. Veicot vizuālās pārbaudes, veic arī nelielus ekspluatācijas darbus – uzskaites sadaļņu slēdzeņu eļļošanu, uzrakstu atjaunošanu pie skaitītāja un aizsardzības aparātiem u.c.

Defektus, kurus nevar novērst vizuālo pārbaūžu laikā, atzīmē darba uzdevumā.

Plānveida instrumentālās pārbaudes vienfāzes un trīs fāžu tiešā slēguma skaitītājiem veic ne retāk kā 1 reizi 4 gados, vienlaicīgi veicot kabeļu pievienojumu kontaktu pārbaudi un ekspluatāciju. Skaitītājiem slēgumā ar mērmaiņiem plānveida instrumentālās pārbaudes

veic 1 reizi gadā.

Ārpuskārtas uzskaites pārbaudes veic pēc lietotāja pieprasījuma vai, ja ir aizdomas par skaitītāja nepareizu darbību.

Skaitītāja instrumentālās pārbaudes laikā veic skaitītāja un pārējo uzskaites elementu pieslēguma un skaitītāja darbības pārbaudi un mērmaiņu koeficienta pārbaudi. Skaitītāja darbības pārbaudi iespējams veikt ar vairākām metodēm – slogojot, ar īpašu skaitītāja pārbaudes mēraparātu nosakot uzskaites darbības kļūdu vai analizējot aktuālo informāciju, un uzņemot vektoru diagrammu (daudzfunkciju skaitītājiem).

Skaitītājiem, kas ir pieslēgti automatizētai datu nolasīšanas sistēmai, veic regulāru skaitītāja notikumu žurnāla datu analīzi – sprieguma pārtraukumu skaits, pārtraukumu skaits pa fāzēm u.c.

Elektroenerģija skaitītāju un mērmaiņu verifikāciju veic Ministru kabineta noteiktajos termiņos.

Ministru kabinets ir noteicis šādu pārbažu periodiskumu:

- indukcijas tipa vienfāzes un trīsfāžu skaitītājiem – 1 reizi 16 gados;
- elektroniskajiem vienfāzes un trīsfāžu skaitītājiem – 1 reizi 12 gados;
- strāvmaiņiem un spriegummaiņiem – 1 reizi 12 gados.

6.4.4. Ar uzskaites iekārtu ekspluatāciju saistītā dokumentācija

Visus darbus ar elektroenerģijas uzskaiti (skaitītāja vai mērmaiņu uzstādīšana, nomaiņa, noņemšana, pārbaude, plombēšana u.c.) veic, pirms tam saņemot uzdevumu darbam ar elektroenerģijas uzskaiti, kurā pēc darbu pabeigšanas aizpilda nepieciešamo informāciju (uzstādītā un noņemtā skaitītāja dati, plombu numuri u.c.) un uz kura parakstās darbu veicējs un lietotājs.

Uzdevumu noformē 2 eksemplāros, no kuriem vienu atstāj lietotājam.

Uzdevumu saņemšanu un noformēšanu iespējams veikt arī elektroniskā vidē, izmantojot mobilās ierīces.

6.5. Uzskaites aizsardzība pret nesankcionētu iejaukšanos

Plombēšana

Veicot elektroenerģijas skaitītāja vai pirmsuzskaites ķēžu plombēšanu, noformē uzskaites

pārbaudes (maiņas) uzdevumu vai plombēšanas aktu, kurā norāda visu uzlikto un noņemto plombu vai līmplombu uzlikšanas vietas un numurus.

Plombēšanai jāizslēdz iespēja lietot elektroenerģiju nesankcionēti.

Elektroenerģijas uzskaites un pirmsuzskaites ķēžu plombēšanai lietojamas šādu tipu plombas:

- ar plombstangām nospiežamas plombas;
- bez plombstangām uzliekamas numurētas plombas;
- līmplombas un drošības līmlentes.

Izplatītākie plombu veidi skaitītāju plombēšanai aplūkojami attēlā 6.17.



6.17. attēls. Izplatītākie plombu veidi skaitītāju plombēšanai

Veicot plombēšanu, ievēro šādas pamatprasības:

- plombēšanai atļauts lietot tikai šim mērķim paredzētus materiālus;
- plomba uzliekama, ievērojot tās ražotāja norādījumus;
- plomba jāuzliek iespējami īsā auklā vai stieplē;
- plomba aiz aizsargvairoga jāuzliek pēc iespējas tā, lai plombas informāciju (numuru) var nolasīt, nenoņemot aizsargvairogu;
- plombējot ar auklu, tai jāsiens divi sējuma mezgli, katrs savā plombas pusē, apakšējā sējuma mezglam jāatrodas saspīestās plombas iekšpusē;
- plombstangu matricu nospiedumam jābūt reljefam un labi salasāmam;
- trīsfāžu skaitītāju pieslēgspaiļu vākus ar divām stiprinājuma skrūvēm var plombēt katru skrūvi atsevišķi vai vienlaicīgi abas stiprinājuma skrūves;
- skaitītāja pieslēgspaiļu vāks jāplombē arī tajā gadījumā, ja skaitītājs atrodas aiz noplombējama vairoga vai noplombējamā sadalnē;
- atļauts plombēt tikai ar konkrētam darbiniekam lietošanai izsniegtām, reģistrētām plombstangām, numurētām plombām un līmplombām;
- pirms līmplombas līmēšanas, jānotīra līmējamā virsmalabākai saķerei;

- līmplombas uzlikšanas vieta jāizvēlas tā, lai būtu ērta līmplombas vizuālā pārbaude.

Izplatītāko plombēšanas materiālu lietošana

Ar plombstangām nospiežamas plombas ar plombēšanas auklu:

- skaitītāju pieslēgspaiļu vāku plombēšanai, ja uzskaitē neatrodas lietotāja teritorijā vai ja skaitītājs atrodas aiz plombējama vairoga vai aizsargekrāna;
- daudzdzīvokļu māju koplietošanas telpās uzstādīto skaitītāju pieslēgspaiļu vāku plombēšanai;
- pirmsuzskaites ķēžu elementu (ievadaizsardzības, atslēdzošo aparātu u.c.) plombēšanai ārpus lietotāja teritorijas.

Bez plombstangām uzliekamas plombas ar unikālu numuru:

- atbildīgu uzskaišu ķēžu elementu plombēšanai (uzskaites sadalnes, mērmaiņu ligzdas un tml.);
- uzskaites sadaļņu vairogi vai aizsargekrāni;
- skaitītāju pieslēgspaiļu vāku plombēšanai lietotāja teritorijā uzstādītajām uzskaitēm;
- pirmsuzskaites ķēžu elementu (ievadaizsardzības, atslēdzošos aparātus u.c.) plombēšanai lietotāja teritorijā;
- plombējot daudzdzīvokļu māju stāvu sadaļņu durvis un aizsargekrānus (vietās, kur sadalnes ir iespējams noplombēt);
- ja uzskaitē ir vairākas plombu uzlikšanas vietas, tad viena uzskaites elementa plombēšanai (aizsargvairoga, skaitītāja pieslēgspaiļu vāka u.c.) nav lietderīgi izmantot vairāk par vienu numurētu plombu.

Līmplombas un drošības līmlentes:

- vietās, kur nav iespējams uzlikt cita veida plombas;
- skaitītāja mehānismu vākam, vietās, kur nepieciešams papildu plombējums.

Noņemtās plombas nedrīkst atstāt lietotāja teritorijā, tās jānodod utilizācijai.

Daudzfunkciju skaitītāju datu aizsardzība

Atšķirībā no vienkāršiem elektroenerģijas skaitītājiem, kas nodrošina tikai pamata funkcijas, daudzfunkciju skaitītājiem ir plašāka funkcionalitāte un konfigurēšanas iespējas. Pirms uzstādīšanas šādam skaitītājam veic parametru iestatīšanu, norādot mērmaiņu transformācijas koeficientus, tarifu zonu parametrus, slodžu profila integrācijas periodu, displejā attēlojamo informāciju u.c.

Būtiskākos skaitītāja parametrus, kas ietekmē tā darbību un mērījumu precizitāti, ir iespējams izmainīt tikai izgatavotājrūpnīcā, izmantojot speciālu programmnodrošinājumu un pieejas informāciju, ko ražotājs tur slepenībā. Savukārt uzņēmumā, kas uzstāda un apkalpo skaitītājus, iespējams izmainīt atsevišķus parametrus, lai pielāgotu skaitītāju uzstādīšanai konkrētā vietā – tie ir konfigurējamie skaitītāja parametri.

Individuālos iestatījumus konkrētam pieslēgumam (piemēram, mērmaiņu koeficientus) parasti veic uzņēmuma personāls, kas uzstāda un apkalpo skaitītājus. Skaitītāju parametrizēšanu ir atļauts veikt tikai tiem darbiniekiem, kuri ir speciāli apmācīti šim darbam.

Ieprogrammētie parametri ir būtiski pareizai elektroenerģijas skaitītāja darbībai. Lai novērstu nejaušu vai ļaunprātīgu ieprogrammēto parametru izmaiņu, tie tiek aizsargāti ar paroli. Uzņēmumam, kurā tiek veikta skaitītāju parametrizēšana, jānodrošina, lai katram skaitītājam tiktu izmantota individuāla parole, kas ir pieejama tikai darbiniekam, kurš veic parametrizēšanu un pēc katras parametrizēšanas šī parole tiek nomainīta.

6.6. Neuzskaitītās enerģijas gadījumi, pārrēķina veikšanas kārtība

Par neuzskaitītās enerģijas gadījumiem sauc gadījumus, kad lietotājs ir patērējis elektroenerģiju, kuru nav uzskaitījis šim nolūkam uzstādītais komercuzskaites mēraparāts. Izšķir 2 gadījumus:

- komercuzskaites mēraparāta defekts vai cits iemesls, kas radies no lietotāja neatkarīgu apstākļu dēļ;
- lietotāja apzināta rīcība, ar nolūku samazināt elektroenerģijas patēriņa rādītāja lielumu vai radīt iespēju elektroenerģiju lietot bez maksas.

Abos gadījumos veic pārrēķinu par neuzskaitīto enerģiju, kura veikšanas metodika ir aprakstīta Ministru kabineta izdotajos „Elektroenerģijas tirdzniecības un lietošanas noteikumos”.

Pirmajā gadījumā, kad lietotājs nav vainojams komercuzskaites mēraparāta bojājumā, piegādātās elektroenerģijas un pakalpojumu apjomu precīzē par visu laiku no brīža, kad elektroenerģijas komercuzskaites mēraparāts sācis darboties nepareizi, vai, ja šis brīdis nav nosakāms – par pēdējo norēķinu periodu. Pārrēķinu izdara, ņemot vērā vidējo elektroenerģijas un pakalpojumu apjomu iepriekšējā norēķinu periodā vai vidējo elektroenerģijas un pakalpojumu apjomu pēc uzskaites atjaunošanas. (31)

Otrajā gadījumā, kad konstatēta lietotāja apzināta rīcība, sistēmas operators pārrēķina lietotāja patērētās elektroenerģijas apjomu par laika posmu no pēdējās sistēmas

operatora veiktās lietotājam uzstādītā komercuzskaites mērāparāta pārbaudes dienas līdz pārkāpuma atklāšanas dienai (pieņemtā patvaļīgā elektroenerģijas patēriņa laika). Pārrēķinātais elektroenerģijas, sistēmas pakalpojumu, palīgpakalpojumu un obligātā iepirkuma komponentu apjoms nav lielāks, kā veicot pārrēķinu pēc pievienojuma maksimālās caurlaides spējas diennakts 24 stundu periodā. (31)

Ja sistēmas operators konstatē iejaukšanos komercuzskaites mērāparāta darbībā, ko apstiprina ekspertīzes atzinums, vai pieslēgumu pirmsuzskaites ķēdēs un šīs darbības nebija iespējams atklāt, veicot kārtējo komercuzskaites mērāparāta kontroli, sistēmas operators ir tiesīgs pārrēķināt lietotāja patērētās elektroenerģijas apjomu par laika posmu līdz vienam gadam pēc pievienojuma maksimālās caurlaides spējas diennakts 24 stundu periodā neatkarīgi no iepriekšējo pārbaūžu rezultātiem. (31)

Kontroljautājumi 6.4., 6.5. un 6.6. nodaļām.

1. Kāds dokuments nosaka pamatprasības darba organizācijai un personālam, veicot darbus elektroietaisēs?
2. Kāda elektrodrošības grupa tiek piešķirta apmācītam darbiniekam?
3. Cik vecas personas drīkst pielaist patstāvīgam darbam elektroietaisēs?
4. Kādas ir pamatprasības darbu veikšanai elektroenerģijas uzskaites ķēdēs, slēgumā ar mērmaiņiem zemsprieguma elektroietaisēs?
5. Kādus darbus ietver uzskaites ekspluatācija?
6. Kāds periodiskums noteikts plānveida instrumentālām pārbaudēm vienfāzes un trīsfažu tiešā slēguma skaitītājiem?
7. Kādu dokumentu noformē, veicot elektroenerģijas skaitītāja vai pirmsuzskaites ķēžu plombēšanu?
8. Kādos gadījumos plombēšanai lieto līmplombas un drošības līmlentes?
9. Kāds dokuments nosaka metodiku pārrēķina veikšanai par neuzskaitīto enerģiju?

7. „Viedās” elektroenerģijas uzskaites jēdziens un pamatprincipi

7.1. Eiropas savienībā izvirzītās prasības attiecībā uz energoresursu taupīšanu un klientu informētību

Eiropas Savienība cenšas uzlabot dalībvalstu kopējo energoefektivitāti, lai:

- apturētu klimata izmaiņas;
- īstenotu drošas, stabilas un konkurētspējīgas enerģijas ideju;
- veidotu Eiropas ekonomiku kā XXI. gadsimta stabilas attīstības modeli.

Lai izpildītu šos uzdevumus, Eiropas Savienība līdz 2020. gadam plāno CO₂ emisijas daudzumu gaisā samazināt par 20%, salīdzinot ar 1990. gadu. Tā kā 40% enerģijas

Eiropas Savienībā tiek patērēti ēkām, lai līdz 2020. gadam sasniegtu izvirzīto mērķi, nepieciešams no enerģijas viedokļa optimizēt 160 miljonus Eiropas Savienības ēku.

Šajā nolūkā Eiropas Savienība ir pieņēmusi divas svarīgas direktīvas:

- direktīvu 2002/91/EK par ēku energoefektivitāti;
- direktīvu 2006/32/EK par enerģijas gala patēriņa efektivitāti un energoefektivitātes pakalpojumiem.

Iestājoties Eiropas Savienībā, Latvijai bija jāpieņem ES izstrādātie direktīvu nosacījumi. Latvijai ir saistoša Eiropas enerģētikas politika, kuras pamatmērķi ir konkurētspēja, ilgtspēja un apgādes drošība.

Eiropas Savienība ir izvirzījusi mērķus, kas tuvākās desmitgades laikā jāsasniedz saistībā ar enerģijas ražošanu un patēriņu. Šos mērķus dēvē par “20-20-20 mērķiem”, kas nozīmē, ka nākamajos gados ir jāpabeidz iekšējā enerģijas tirgus izveide un līdz 2020. gadam 20% no enerģijas gala patēriņa ir jābūt no atjaunojamajiem enerģijas avotiem, siltumnīcefekta gāzu emisija jāsamazina par 20% un, izmantojot energoefektivitātes pasākumus, enerģijas patēriņš jāsamazina par 20%. (33)

Šobrīd Eiropas Savienība importē vairāk nekā pusi no patērētās enerģijas un, neizmainot enerģētikas politiku, pastāv reāls drauds, ka laika posmā līdz 2030. gadam ievērojami pieaugs tās atkarība no importētajiem fosilās enerģijas resursiem.

Vienoti nosacījumi ES iekšējam elektroenerģijas tirgum noteikti t.s. 3.enerģētikas paketē jeb Direktīvā 2009/72/EK. Ar šo direktīvu paredz kopīgus noteikumus elektroenerģijas ražošanai, pārvadei, sadalei un piegādei, kā arī patērētāju aizsardzības noteikumus, lai Kopienā uzlabotu un integrētu konkurētspējīgu elektroenerģijas tirgu. Ar to nosaka normas, kas attiecas uz elektroenerģijas nozares organizāciju un darbību, atvērtu piekļuvi tirgum, kritērijiem un procedūrām, kuras piemēro konkursiem, atļauju piešķiršanai un sistēmu vadīšanai. Tā arī nosaka elektroenerģijas patērētāju vispārējās saistības un tiesības un precizē konkurences prasības. (34)

Izstrādājot Latvijas “Enerģētikas attīstības pamatnostādnes 2007. – 2016. gadam”, ir ņemtas vērā ES enerģētikas politikas pamatnostādnes. Līdz ar to arī Latvijā arvien vairāk elektroenerģijas gala lietotāji tiks iesaistīti energotaupības pasākumos.

Lai realizētu Eiropas enerģētikas politiku elektroenerģijas jomā, pirmais solis Latvijā ir veikts. Ir notikusi elektroenerģijas tirgus liberalizācija, kas ļauj klientiem iepirkt elektroenerģiju brīvajā tirgū, taču paralēli pastāv arī regulētais tirgus. (36)

Šobrīd universālo pakalpojumu saņemt (būt par saistīto lietotāju) ir tiesīgi māsaimniecības lietotāji un lietotāji, kuru visi pieslēgumi sistēmai vienlaikus atbilst šādiem kritērijiem (31):

- pieslēguma spriegums nepārsniedz 400 voltu;
- ievadaizsardzības aparāta nominālā strāva nepārsniedz 100 ampēru.

Visiem pārējiem lietotājiem elektroenerģija ir jāpērk brīvajā tirgū.

Nākamais solis ir viedās uzskaites un pakāpeniski arī viedo tīklu ieviešana. Viedo tīklu galvenais mērķis ir samazināt siltumnīcefekta gāzu emisiju visā pasaulē. Tas ļaus sadales tīklā integrēt izkliedētas nelielas elektroenerģijas ražotnes, kuru ievērojamu daļu veidos atjaunojamo energoresursu ražotnes. Savukārt, viedās uzskaites ieviešana nodrošinās automatizētu attālinātu skaitītāju rādījumu nolasīšanu, operatīvāku (ātrāku) bojājuma novēršanu zemsprieguma elektriskā tīklā, kā arī skaitītāju vadību, t.i., klienta pieslēgšanu vai atslēgšanu, atļautās slodzes ierobežošanu, iespēju lietotājiem attālināti sniegt informāciju par viņu patēriņu, elektrības cenu konkrētā brīdī, statistiku par patēriņu u.c.

7.2. Ieskats viedās uzskaites un viedo tīklu tehnoloģijās

Viedo tīklu galvenais mērķis ir samazināt siltumnīcefektu radošo gāzu emisiju visā pasaulē. Latvijai kā ES dalībvalstij ir saistošas ES Direktīvas saistībā ar viedo tīklu ieviešanu. Tā kā Direktīvas nosaka tikai kopējās vadlīnijas viedo tīklu ieviešanai, iniciatīva, ko un kā attīstīt, ir katras dalībvalsts ziņā.

Viedo tīklu (Smart Grids) jēdziens parādījās 21. gadsimta sākumā ap 2000. – 2005. gadu. Amerikas Savienotajās Valstīs EPRI (Electric Power Research Institute) vadībā tika izveidots IntelliGrid konsorcijs, kas 2005.gadā publicēja IntelliGrid vīziju. [17]

2006.gadā Eiropas Komisija publicēja savu viedo tīklu vīziju. (37) ASV un Austrālijā, kā arī dažās Eiropas valstīs galvenais motivators viedo tīklu vīzijas radīšanai ir nepieciešamība ierobežot patēriņu pīķa (maksimuma) stundās. Eiropā galvenais virzītājspēks ir zaļās iniciatīvas, atjaunojamo energoresursu attīstība un energoefektivitāte – pieņēmums, ka labāk informēts patērētājs lietos mazāk enerģijas. Tādējādi viedo tīklu un viedo skaitītāju ieviešana tiek uzskatīta par nozīmīgu instrumentu Eiropas izvirzīto 20/20/20 mērķu sasniegšanā attiecībā uz enerģijas patēriņa samazināšanu. (38) Turklāt viedie skaitītāji ir būtisks nosacījums atjaunojamo energoresursu un izkliedēto elektroenerģijas avotu ieslēgšanai elektriskā tīklā. Gan Eiropas, gan ASV viedo tīklu vīzijās centrālo vietu ieņem energoefektivitāte un uz klientu orientēta pieeja – ar uzsvaru uz kvalitatīvu

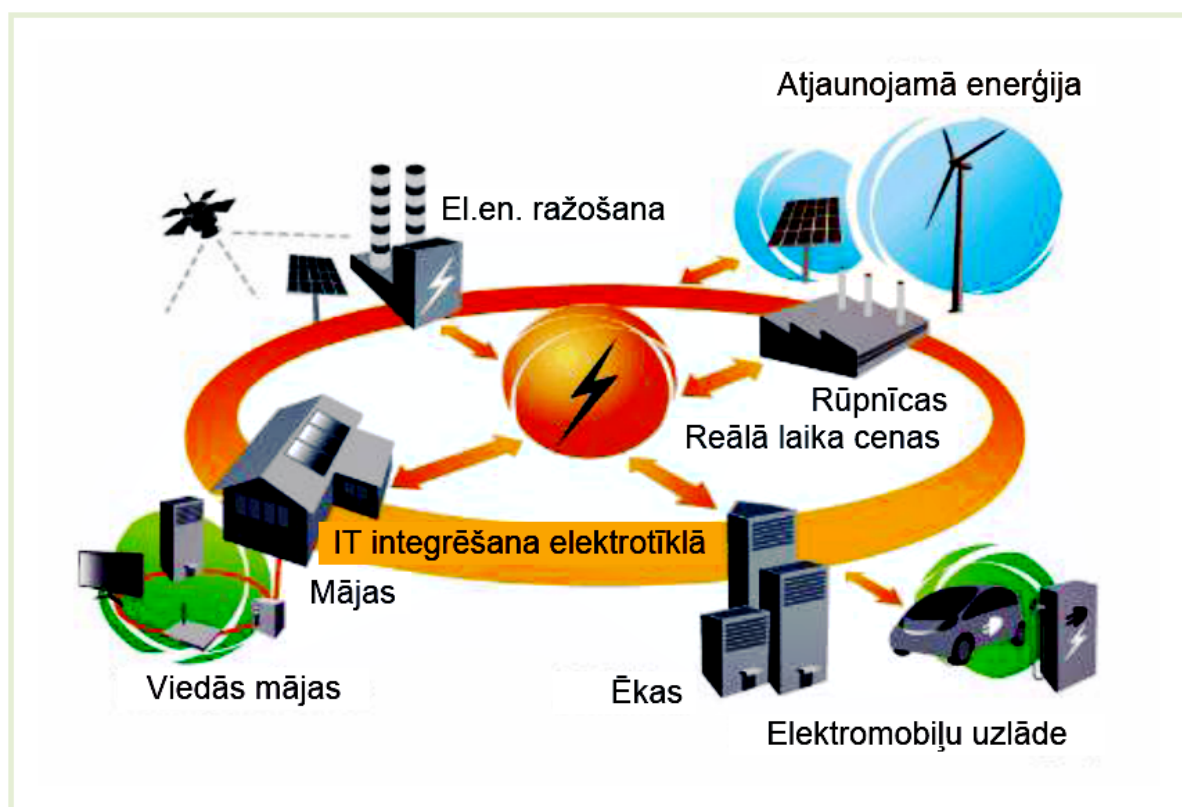
elektroapgādi, klienta iesaistīšanu sava energopatēriņa optimizēšanā un dažādu jaunu pakalpojumu pieejamību klientiem.

Viedo tīklu jēdziens saista enerģētikas nozari ar informācijas tehnoloģiju un telekomunikāciju nozari. Viedais tīkls būs pašdiagnosticējošs un pašatjaunojošs (selfhealing) tīkls, kas pastāvīgi sūtīs, saņems un apstrādās datus par tīkla un tā atsevišķu elementu stāvokli un parametriem, jaudas plūsmām, kā arī veiks informācijas apmaiņu ar inteligentām elektroniskām ierīcēm, ražotājiem, sistēmas operatoriem, tirgotājiem un klientiem. Viedais tīkls būs (39):

- drošs un elastīgs, kas nodrošinās klientu vajadzības un spēs automātiski pārslēgt jaudas plūsmas, apejot un lokalizējot bojājumu vietas tīklā, nodrošinās augstu drošību un elektroapgādes kvalitāti;
- pieejams visiem tīkla lietotājiem, it īpaši atjaunojamiem energoresursiem, lokāliem ģenerējošiem avotiem, kas neveido vai gandrīz neveido CO2 izmešus;
- ekonomisks un spējīgs sniegt augsta līmeņa pakalpojumus klientiem;
- nodrošinās divvirzienu komunikāciju ar klientu, precīzu uzskaiti, slodžu vadību, dos iespēju piedāvāt dinamiski mainīgas cenas (real-time pricing) u.c.

Eiropas viedo tīklu vīzijas dokumentā tiek runāts arī par mikrotīkliem (zemspriegumatīkli ar mikroģeneratoriem, lokālu elektroenerģijas uzkrāšanu, vadāmajām slodzēm un automātisku izdalīšanos „salas” režīmā, ja pazūd primārais barošanas avots, un automātisku sinhronizēšanos ar tīklu, kad primārais barošanas avots atjaunojas), par virtuālām energokompānijām jeb virtuālu elektrības tirgu. Elektrotīkla struktūra kļūst līdzīga interneta tīkla struktūrai – elektroenerģija tiek pirka un piegādāta uz noteiktiem punktiem tīklā, piegādātājs brīvi nosaka ģenerējošo avotu, kurš tiek piesaistīts konkrēta elektroenerģijas pieprasījuma izpildei, sistēmas darbību nodrošina augsta līmeņa IT un telekomunikāciju risinājumi, modernas spēka elektronikas tehnoloģijas un elektroenerģijas uzkrāšanas tehnoloģijas. (37)

Viedā tīkla konceptuāls modelis aplūkojams attēlā 7.1.



7.1. attēls. Viedā tīkla konceptuāls modelis (40)

Viedā uzskaite (Smart Metering) un moderna uzskaites infrastruktūra (Advanced Metering Infrastructure jeb AMI) ir uzskatāma par viedo tīklu vīzijas būtiskāko sastāvdaļu – pirmo soli viedo tīklu vīzijas ieviešanā.

Par viedo elektroenerģijas skaitītāju uzskatāms skaitītājs, kuram ir jānodrošina sekojošas minimālās prasības (41):

- jāieraksta un jā saglabā atmiņā 1 stundas vai vēl mazāka intervāla elektroenerģijas patēriņš;
- ne retāk kā reizi dienā jākomunicē uzkrātie dati sistēmas operatoram monitoringa un norēķinu vajadzībām;
- jānodrošina 2 virzienu (abpusēji) sakari ar centrālo sistēmu.

Viedais elektroenerģijas skaitītājs var nodrošināt dažādas papildus funkcijas atbilstoši vajadzībām, piemēram:

- distances atslēgšanu un/vai slodzes ierobežošanu;
- abu virzienu aktīvās un reaktīvās enerģijas plūsmu uzskaiti;
- sprieguma kvalitātes parametru kontroli, notikumu uzskaiti un saglabāšanu

- notikumu reģistrā, trauksmes funkciju (alarm);
- darbību HAN (mājas datu pārraides tīklā), slodžu vadību ar iespēju attālināti atslēgt/ieslēgt atsevišķas lietotāja elektroierīces;
- datu iegūšanu no citu komunālo pakalpojumu sniedzēju skaitītājiem (gāze, siltums, ūdens).

Bez viedās uzskaites nav iespējama divvirzienu komunikācija ar klientu un klienta energoietaisēm nav iespējams nodrošināt klienta slodžu vadību un dinamiski mainīgus tarifus. Viedā uzskaitē ir priekšnoteikums atjaunojamo energoresursu, īpaši mikroģeneratoru efektīvai integrēšanai elektrotīklā, kā arī, piemēram, elektromobiļu akumulatoru uzlādēšanas infrastruktūras izveidošanai un kontrolei. Tāpēc jau šobrīd daudzas pasaules valstis ir nodefinējušas viedās uzskaites ieviešanas mērķus un uzsākušas viedo skaitītāju un uzskaites sistēmu ieviešanu. Ir novērtēts, ka tuvākajos piecos līdz desmit gados tiks uzstādīti aptuveni 30 miljoni viedo skaitītāju ASV, 4.3 miljoni Kanādā, 2.5 miljoni Austrālijā un ap 100 miljoniem viedo skaitītāju Eiropā.

7.3. Ieskats datu nolasīšanas un apstrādes tehnoloģijās

Vēsturiski un arī mūsdienās informācija par elektroenerģijas patēriņu galvenokārt tiek iegūta, veicot skaitītāja datu (rādījuma) manuālu nolasīšanu.

Tomēr, skaitītāju tehnoloģijām attīstoties un parādoties daudzfunkciju skaitītājiem, kas reģistrē un saglabā atmiņā lielu daudzumu dažādu datu – saņemtās un tīklā nodotās aktīvās un reaktīvās enerģijas apjomu dienu vai mēnešu griezumā, informāciju par patērētās elektroenerģijas apjomu dažādās tarifu zonās (dienas, nakts un maksimumstundu), ikstundas slodžu grafikus, maksimālās slodzes datus, sprieguma atslēgumus u.c. notikumus, ir būtiski pieaudzis skaitītājos uzkrāto datu apjoms. Šāda datu apjoma manuāla nolasīšana ir ļoti darbietilpīgs process ar lielu kļūdas iespēju, tādēļ šādu skaitītāju nolasīšanu parasti organizē elektroniski un to var veikt dažādos veidos:

- Datu nolasīšana ar portatīvo datoru caur speciālu datu apmaiņas interfeisu (parasti tiek izmantots optiskais interfeiss atbilstoši EN 62056-21 standarta prasībām), izmantojot ražotāja programmnodrošinājumu un saglabājot nolasītos datus datorā ar iespēju pēc tam veikt šo datu eksportu. No dažu modeļu skaitītājiem iespējama datu nolasīšana, izmantojot standarta infrasarkanā interfeisu. Datu apmaiņas protokoli ir standartizēti, plašāk izmatoti ir tādi standarti kā ANSI C12.18 vai IEC 61107.
- Mobilā datu nolasīšana („wake-by” vai „drive-by”), kas dažās valstīs bija populārs risinājums pirms automatizētās uzskaites risinājumu ieviešanas. Šodien šāda veida risinājumus vairs neattīsta, tomēr mobilās nolasīšanas risinājums var

kalpot kā alternatīva fiksētā tīkla infrastruktūras bojājumu gadījumos.

- Attālināta datu nolasīšana, balstīta uz fiksētā tīkla arhitektūru, izmantojot kādu no pieejamiem sakaru kanāliem (RF, PLC u.c.). Šajā gadījumā pie skaitītāja tiek uzstādīta (vai tajā iebūvēta) speciāla ierīce datu saņemšanai un nosūtīšanai, kā arī tiek izmantots speciāls IT risinājums vajadzīgo datu nolasīšanai ar noteiktu periodiskumu un saglabāšanai uzskaites datu bāzē.

Pēdējā laikā tiek attīstīti risinājumi attālinātai datu nolasīšanai, kas balstīti uz fiksētā tīkla arhitektūru, kas ir ne tikai ērtāks un ļauj daudz operatīvāk iegūt vajadzīgos datus, bet arī ilgtermiņā ekonomiski izdevīgāks risinājums. Šādu sistēmu darbībai tiek izmantotas antenas, torņi, kolektori, signāla pastiprinātāji un citas ierīces, lai savāktu datus no skaitītājiem uz galveno datu bāzi bez cilvēka tiešas iesaistīšanas šajā procesā. Dažas sistēmas izmanto tikai kolektorus, kuri saņem un saglabā datus tālākajai apstrādei. Dažās tiek izmantoti signāla pastiprinātāji – līdz ar to skaitītāja dati netiek glabāti kolektoros, bet pārraidīti uz galvenajiem kolektoriem. Signāla pastiprinātajos jeb retranslatoros parasti tiek izmantots radio signāls, tomēr dažreiz var tikt izmantots arī kabeļu tīkls – telefona vai IP tīkls.

Fiksētā tīkla arhitektūru iespējams izveidot, izmantojot dažādas tehnoloģijas. Kā izplatītākās var minēt skaitītāja datu nolasīšanu, izmantojot radio signālus, elektroenerģijas pārvades līnijas un bezvadu tīklu.

Tālāk aprakstītas biežāk izmantotās tehnoloģijas.

7.4. Radio tīkli

Radio signāla darbības principa pamatā ir elektromagnētiskie pārejas procesi (elektromagnētiskā indukcija) jeb īpašība, kas paredz, ka mainīgs elektriskais lauks rada mainīgu magnētisko lauku un otrādi. Signāla izplatīšanās notiek brīvā telpā, viendabīgi uz visām pusēm no raidītāja, tāpēc radio ļauj veikt plašu apraidi. Uztvērējs, izmantojot selektīvus svārstību kontūrus, uztver radio signāla radītās svārstības vadītājā un pārveido ierīcēm saprotamā elektriskajā signālā.

Radio signālu darbības frekvence ir no 3 kHz līdz 300 GHz.

Radio sakari ir ērts informācijas pārraides veids, kas ir pietiekami standartizēts, lai izmantotu kādu no esošajām tehnoloģijām gan nestandardizēts, lai atbalstītu un stimulētu jaunu tehnoloģisko risinājumu izstrādi.

Pastāv gan divvirzienu, gan vienvirziena radio signāla sistēmas. Divvirzienu jeb

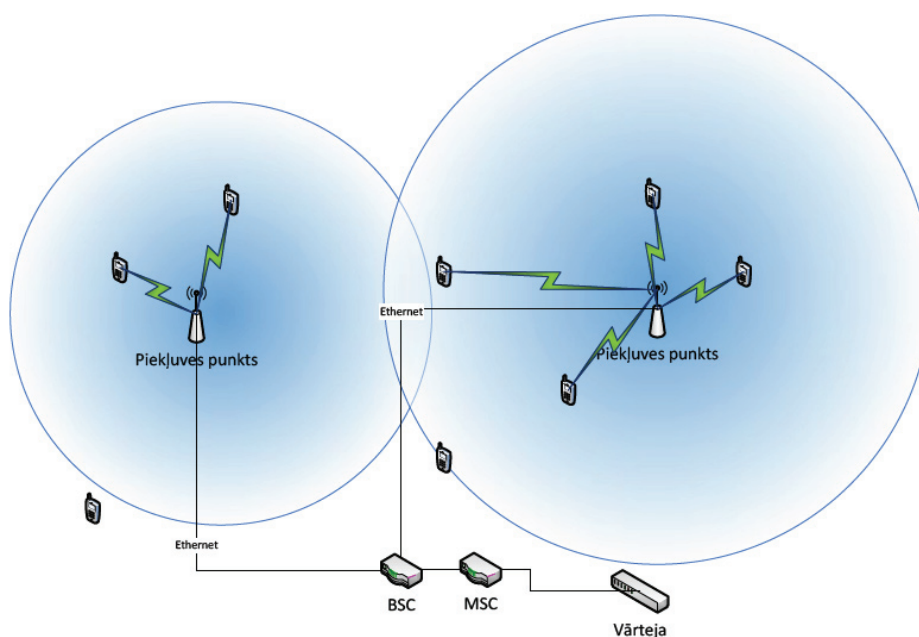
„wake-up” sistēmās raiduztvērējs parasti sūta signālu katram konkrētam skaitītājam, dodot ziņu, ka nepieciešams nosūtīt datus. Skaitītājam pievienotais raiduztvērējs sūta un saņem radio signālu un datus. Vienvirziena jeb „bubble-up” tipa sistēmās skaitītājs pats sūta datus noteiktos intervālos. Tas nozīmē, ka nolasīšanas ierīce var tikai saņemt datus, bet skaitītājs – tikai nosūtīt. Tiek izmantotas arī hibrīdās sistēmas, kas kombinē gan vienvirziena, gan divvirzienu sakarus. Vienvirziena komunikācija tiek izmantota skaitītāju nolasīšanai, bet divvirzienu – arī skaitītāju konfigurēšanai.

Radio tīkla arhitektūru iespējams realizēt dažādos veidos, izmantojot gan radio apraides plašā pārklājuma īpašības, gan virzienorientēto sakaru īpašības. Atkarībā no vēlamā mērķa, izmantotās tehnoloģijas un citiem ietekmējošiem faktoriem radio komunikāciju tīkla arhitektūra var būt dažāda. Plašāk izplatītās rādījumu nolasei ir centralizētās un decentralizētās komunikāciju arhitektūras.

Centralizēti radio tīkli

Šobrīd centralizētos bezvadu tīklus izmanto visplašāk - gan mobilajos sakaros, gan attālinātai skaitītāju datu nolasīšanai. Centralizēta tīkla struktūra ir pamatā jebkuriem šī brīža mobilajiem sakariem.

Konceptuāls centralizēta tīkla darbības princips parādīts attēlā 7.2. Gala iekārta sazinās ar centrālo bāzes staciju, kas tālāk, izmantojot fiksēto TCP/IP Ethernet tīklu, informāciju nogādā Bāzes Staciju Kontrolierī (BSC) no kurienes to pārsūta uz MSC (Mobile Switching Centre) un caur vārteju tiek nodrošināts savienojums ar citiem tīkliem, piemēram, internetu, un nodrošināta informācijas tālāka maršrutizācija un apstrāde.



7.2. attēls. Centralizēta radio tīkla konceptuāls modelis.

Attēlā 7.2. redzams, ka bezvadu tīkla pārklājumu nodrošina liela pārklājuma piekļuves punkti (parasti izvietoti tornos vai citās augstās celtnēs, lai uzlabotu signāla pārklājuma distanci). Plašāk lietotie tehnoloģiju standarti ir GSM un CDMA.

GSM

GSM ir „šūnu” tehnoloģija, kas nozīmē, ka visa pārklājuma teritorija ir sadalīta sešstūra formas apgabalos jeb šūnās, kur katrā no šūnām atrodas savs piekļuves punkts, kas parasti ir izvietots tornī vai citā augstā ēkā, lai nodrošinātu pārklājumu. Tehnoloģiju 1987. gadā radīja GSM Asociācija. GSM darbojas 850/900/1800/1900 MHz frekvencēs. Tā kā Eiropā visizplatītākā ir GSM tehnoloģija, tad populārākie ir tieši GSM paredzētie informācijas apmaiņas protokoli. Tie ir GPRS, EDGE, UMTS un 4G, sakārtoti atbilstoši to vēsturiskajai attīstībai. Protokoli savā starpā nav savietojami un atšķiras ne tikai ar datu protokoliem, bet arī tehnoloģiski. Jaunākajām mobilajām ierīcēm ir vairāku tehnoloģiju atbalsts (gan GSM/GPRS, gan 3GSM jeb UMTS).

CDMA

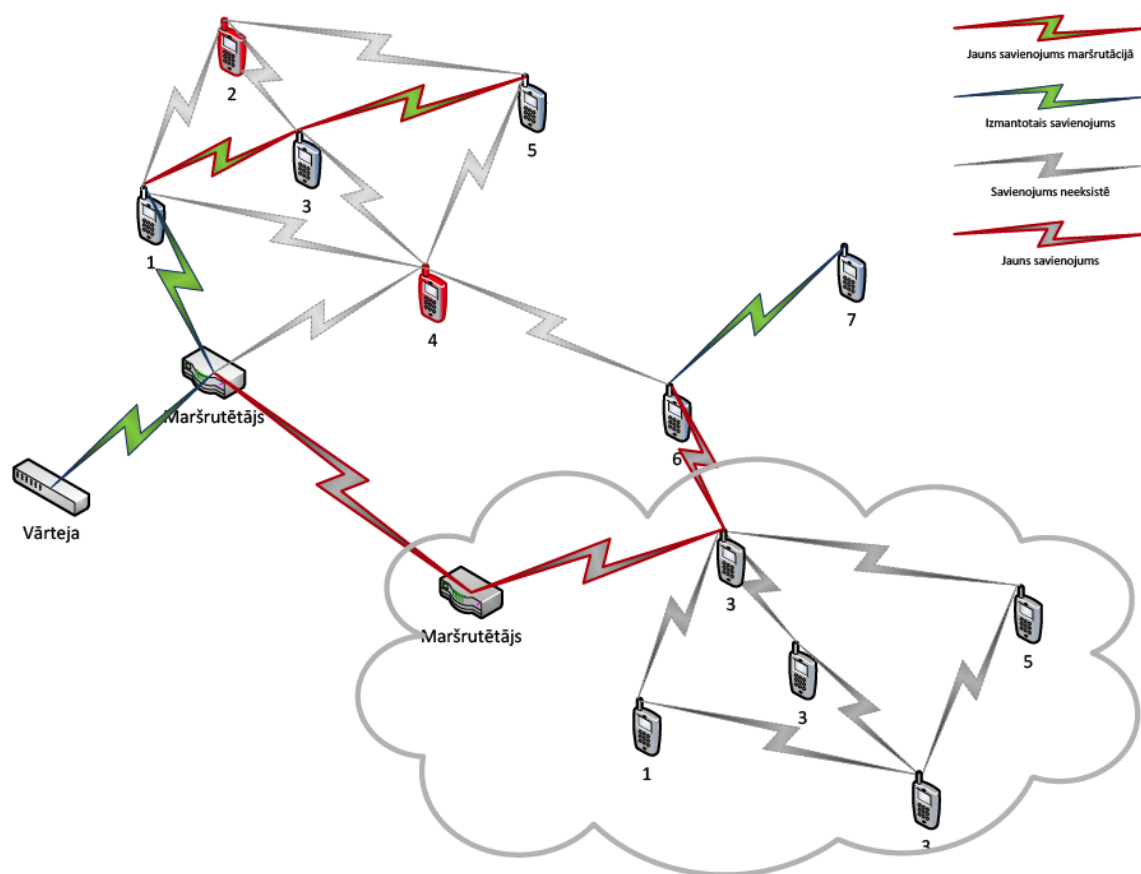
CDMA izplatīts ASV un Kanādā, to izstrādājis Qualcomm. CDMA ir saīsinājums no Code Division Multiple Access, un pēc nosaukuma var secināt, ka tas nodrošina vairāku ierīču spektra izmantošanu vienlaicīgi. Katrai ierīcei apraides zonā ir viens fizikālais kanāls un speciāls kods. Izmantojot šo kodu, signāls no ierīces tiek multipleksēts un viens un tas pats fizikālais kanāls tiek lietots, lai raidītu signālu (kodi var būt gan konstanti, gan mainīgi).

„MESH”

MESH tīkla pamatā ir radio mezgli, kas organizēti tīkla topoloģijā. Tehnoloģiskais nodrošinājums visbiežāk satur tīkla klientu iekārtas, tīkla maršrutētājus un vārtejas. Klientu iekārtas var būt dažādas iekārtas (arī skaitītāji), tīkla maršrutētāji sadala un virza datu trafiku un vārtejas savieno dažādus tīklus. Šādas topoloģijas tīkls ir līdzīgs mākoņdatņošanas tīklam. Ja tīkla mezgli strādā pareizi un savstarpēji sasaistīti, šāds tīkls ir uzticams un redundants (piedāvā rezervēšanu), jo, kādam no mezgliem izkrītot no tīkla, iespējams izmainīt maršrutizāciju un apiet bojājumu (attēls 7.3.). Šāda arhitektūra nodrošina vajadzīgo signāla līmeni, garas distances sadalot īsākās (no mezgla uz mezglu). Tas ir pamatā arī augstajai noturībai un drošumam, jo katram mezglam jānodrošina pārklājums tikai līdz nākošajam mezglam. Tīkla mezgli ne tikai pastiprina signālu, bet, zinot tīkla struktūru, maršrutē signālu tālāk adresātam (darbojas kā maršrutētāji). Rūpīgi izveidojot šāda tipa arhitektūru, iespējams panākt lielu joslas platumu un augstu spektrālo efektivitāti.

Uzskaites gala iekārtas (skaitītāji) visbiežāk pārraida un saņem datus ar ātrumu 9,6 kbps, kamēr maršrutētāji (arī dažos gadījumos izmantotie koncentratori) var darboties ar tādu pašu ātrumu vai divreiz lielāku – 19,2 kbps.

Tīkls var tikt būvēts decentralizēti vai ar vienu, centrālo serveri. Tas nedaudz ietekmē tīkla pārvaldību un tehnoloģisko nodrošinājumu. Maršrutētājus visbiežāk izvieto uz balstiem, ēkām vai citām augstām konstrukcijām, lai pēc iespējas vairāk izmantotu radio signāla pārklājumu. Uzskaites elementi visbiežāk darbojas ar jaudu, ne lielāku par 450mW un darbības rādiusu pāris simti metru, bet maršrutētāji raida ar lielāku jaudu – 1 W un darbības rādiusu līdz 2 km. Maršrutētāji var tikt izmantoti arī kā tilta savienojumi starp vietām, ko nav iespējams savienot ar gala iekārtām. Koncentratori, ja tādi tiek izmantoti, parasti spēj darboties tīklā līdz pat 25 000 uzskaites punktiem.



7.3. attēls. Bojājumu apiešana MESH tīklā

MESH tīkls var ietaupīt infrastruktūras izmaksas, jo nepieciešams mazāks datu savākšanas punktu skaits, bet līdz ar to skaitītājs patērē vairāk enerģijas un nepieciešami skaitītāji ar plašāku funkcionalitāti, kas, savukārt, palielina izmaksas. Tomēr šīs papildus izmaksas var atsvērt, ietaupot izmaksas, kas saistītas ar papildus kolektoriem un retranslators antenām.

Fiksētā tīkla sistēmas iespējams veidot arī kā hibrīdās sistēmas, izmantojot gan mobilo, gan fiksēto tīklu. Šādu pieeja var izmantot maz apdzīvotos apvidos, kur pilnas fiksētā tīkla infrastruktūras izbūve nav rentabla.

Sastopamākās radio signāla tehnoloģijas ir šaurjoslas, Direct-sequence spread spectrum (DSSS) un Frequency-hopping spread spectrum (FHSS).

Iespējams izmantot arī ZigBee, Bluetooth, Wi-fi un citas radio signāla tehnoloģijas

7.5. Datu pārraide, izmantojot elektrotīklu (PLC)

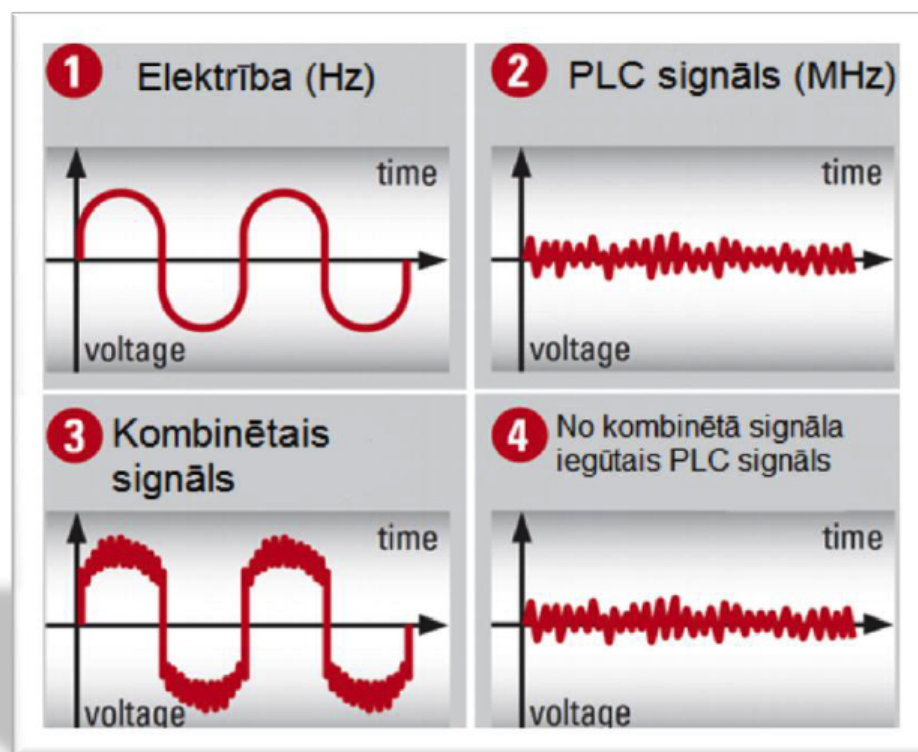
PLC (Power Line Communications vai Power Line Carrier) ir komunikāciju veids, kas izmanto energosistēmas esošās līnijas sakaru nodrošināšanai. Šis komunikāciju risinājums ir balstīts uz signālu spektrālo sadalījumu, kas ļauj signālus ar dažādām frekvencēm pārraidīt vienā vidē, netraucējot vienam otru.

Pirmie patenti par informācijas pārraidi spēka līnijās (telegrāfs) tika izsniegti jau 1920. un 1924.gadā, bet no 1980.gada vislielākā uzmanība tika pievērsta plaša spektra komunikāciju iespējām. Pēdējā laikā PLC tehnoloģijas attīstās strauji, jo to piedāvātās priekšrocības daudziem uzņēmumiem (īpaši energokompānijām) ir ļoti pievilcīgas un atsver šķēršļus tehnoloģiju izstrādē.

PLC tehnoloģijas fiziskā līmenī lieto elektrotīkla kabeļus un vadus, ko pamatā izmanto elektriskās jaudas pārvadīšanai. (42)

Izmantojot modulāciju, binārais datu kods tiek „uzlikts” uz nesējsignāla, kas pēc tam tiek pievienots spēka līnijā esošajam signālam. PLC tehnoloģijai iespējams izmantot dažādus signāla modulācijas veidus – izplatītākie ir FSK (Frequency Shift Keying) un OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Dažādi modulācijas veidi var tikt arī kombinēti un izmantoti paralēli. Energosistēmas tīklā signāla (sprieguma) frekvence ir 50 Hz, kā arī šīs frekvences augstākās harmonikas, kuru līmenis ir atkarīgs no tīkla kvalitātes un slodzes (tīklam pieslēgto elektrisko ierīču) parametriem. PLC darbojas plašā frekvenču joslā - no 3KHz līdz 150 kHz (šaurjoslas) un no 2 līdz 30 MHz (platjoslas), kas būtiski neietekmē sprieguma kvalitāti klientam, bet rūpnieciskā sprieguma frekvence, savukārt, būtiski neietekmē sakaru kvalitāti.

Tehnoloģijas darbības pamatā ir divu signālu saskaitīšana, kad abu signālu amplitūdas tiek saskaitītas (attēls 7.4.), veidojot vienu signālu, kas satur abu signālu frekvenču spektra komponentes, piemēram, 50 Hz komponenti ar 230 V efektīvo vērtību un 125 kHz komponenti ar būtiski zemāku spriegumu (42).



7.4. attēls. PLC signāla grafisks attēlojums (42)

Šāds signāls tiek pārraidīts elektrotīklā, kas ideālos apstākļos neietekmē signāla kvalitāti.

Reālajā dzīvē signāli satur ne tikai pamatfrekvenci, bet arī tās augstākās harmonikas, turklāt arī pārraides vide ietekmē pārraidāmo signālu. Būtiskākā PLC signāla pārraides problēma ir traucējuma signāli un citas ietekmes, kas izmaina signālu un traucē precīzi to atpazīt saņēmēja pusē.

Kā galvenos faktorus, kas traucē signāla pārraidei elektrotīklā, var minēt:

- sliktas sprieguma kvalitāte tīklā ar ievērojamu augstāko harmoniku īpatsvaru;
- elektriskās ierīces, kas nelabvēlīgi ietekmē sprieguma kvalitāti – taisngrieži, komutatori u.c.;
- induktīva un kapacitatīva rakstura slodzes, kas rada reaktīvās un kapacitīvās jaudas un rada nepieciešamību tās kompensēt;
- parazītiskās rezonanses, kas var pastiprināt atsevišķas harmonikas;
- pārejas pretestības kontaktsavienojumos, kas kavē signāla izplatību un rada viļņu atstarošanos;
- vadītāju temperatūras pieaugums slodzē, rezultātā tiek vājināts signāls.

Sakaru kvalitāti iespējams uzlabot, izmantojot signāla filtrus, kas caurlaides joslā selektīvi izdala nepieciešamo signālu frekvences, bet vājina pārējās frekvences. Iespējams izmantot arī FEC (Forward Error Correction) kodus, periodiski mainīt signāla frekvences u.c. Protams, vislabāko rezultātu dos problēmu faktisko cēloņu identificēšana un novēršana.

Parasti ar PLC tehnoloģijas palīdzību dati tiek pārsūtīti uz koncentratoru, ko uzstāda transformatoru apakšstacijā. Tālāka datu nosūtīšana no koncentratora uz centrālo sistēmu tiek organizēta, izmantojot mobilo vai fiksēto telefona sakaru līnijas.

Lai veiktu automātisku viedo skaitītāju nolasīšanu, PLC ir vislētākā no piedāvātajām tehnoloģijām, jo:

- nav nepieciešami lieli ieguldījumi tīkla izveidei;
- nav nepieciešami trešo kompāniju pakalpojumi;
- nav nepieciešama frekvenču joslas izdalīšana vai abonēšana;
- nav atkarība no iekārtu piegādātājiem vai operatoriem, kas veicina konkurenci un samazina cenas.
-

Ar šo tehnoloģiju primāri tiek nodrošināta elektroenerģijas skaitītāju datu savākšana, bet ir sastopami risinājumi arī gāzes un ūdens skaitītāju integrēšanai.

Uzskaites datu mitināšana (hosting)

Automatizēti nolasīto uzskaites datu mitināšana ir tehniskais risinājums, kas ļauj lietotājam sekot savam elektroenerģijas, ūdens, gāzes u.c. resursu patēriņam, izmantojot internetu. Visi dati tiek savākti gandrīz reālā laikā un glabāti datu bāzē. Lietotājam ir iespēja apskatīt datus, izmantojot WEB lietojumu, pārbaudīt sava rēķina informāciju un analizēt datus, izmantojot lietojumā iekļautos analīzes rīkus, piemēram, slodžu profila grafikus, tarifa struktūras u.c.

Kontroljautājumi 7. nodaļai.

1. Kādas direktīvas ir pieņemtas Eiropas savienībā, lai uzlabotu dalībvalstu kopējo energoefektivitāti?
2. Ko saprot ar jēdzienu „20-20-20 mērķi”?
3. Kāds dokuments Latvijā nosaka elektroenerģijas lietotāju loku, kuriem ir tiesības saņemt universālo pakalpojumu?
4. Kāds būs viedais tīkls?
5. Kāds elektroenerģijas skaitītājs uzskatāms par viedo skaitītāju?
6. Kāda tīkla arhitektūra uzskatāma par piemērotāko elektroenerģijas skaitītāju datu nolasīšanai?

7. Kādi ir centralizēto radio tīklu plašāk lietotie tehnoloģiju standarti?
8. Kādas priekšrocības dod MESH tīkla tehnoloģijas izmantošana?
9. Kādi ir izplatītākie modulācijas veidi PLC tehnoloģijai?
10. Kādi ir galvenie faktori, kas var traucēt signāla pārraidei elektrotīklā, izmantojot PLC tehnoloģiju?

Izmantotā literatūra.

1. Philosophies for Testing Protective Relays. Kumm, J.J., u.c., u.c. 1994. lpp. 9.
2. Horowitz, S.A. Protective Relaying for Power Systems. New York : IEEE PRESS, 1980.
3. LEK. LEK 002 Energoietaišu tehniskā ekspluatācija. Rīga : LEK, 2011.
4. Putniņš, J. Elektroapgādes sistēmas relejaizsardzība un automātika. Rīga : Zvaigzne, 1993. - 415 lpp.
5. web 1. [Tiešsaiste] <http://www.chebelektra.com/rele/rele-max-toka/rt40>.
6. web 2. [Tiešsaiste] <http://leg.co.ua/knigi/rzia/releynaya-zaschita-i-avtomatika-v-elektrostanovkah.html>.
7. web 3. [Tiešsaiste] http://xreferat.ru/image/102/1307355320_4.png.
8. web 4. [Tiešsaiste] http://diplomka.net/publ/ehkspluatacija_i_remont_rele_vremeni/7-1-0-344.
9. web 5. [Tiešsaiste] http://rza.org.ua/rele/read/Rele-ukazatelnie-RU-21--BRU-4--postoyannogo-toka-_112.html.
10. Baltiņš, A., Kanbergs, A. un Miesniece, S. Zemsprieguma elektriskie aparāti. Rīga : Jumava, 2007. - 345 lpp.
11. web 6. [Tiešsaiste] <http://www.cheaz.ru/page.asp?page=5505/5510/5523/5565/6327/6368/8163>.
12. ALSTOM. Network Protection & Automation. Barcelona : bez nos., 2002. - 497 lpp.
13. Multifunction Protection and Switchbay Control Unit REF 542plus. [Tiešsaiste] [http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/f4d07220ba429268c12574500048b9e0/\\$file/ref542plus_e.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot235.nsf/veritydisplay/f4d07220ba429268c12574500048b9e0/$file/ref542plus_e.pdf).
14. Programma. Freja 300 / Freja Win 4.0 Relay Testing System. User's Manual. Sweden : Programma, 2001. -154 lpp.
15. OMICRON. Help & Manuals. [CD] bez viet. : OMICRON, 2002. gada.
16. J. Rozenkrons, K. Timmermanis. „Elektrisko staciju un apakšstaciju elektriskā daļa”. Rīga : Zvaigzne, 1998.
17. Титенков С.С., Пугачёв А.А. „Режимы заземления нейтрали в сетях 6 – 35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю”. bez viet. : Энергоэксперт, 2010.

18. Vanags, A. „Elektriskie tīkli un sistēmas (I daļa)”, trešais izdevums. Rīga : RTU izdevniecība, 2007.
19. L.Žagars, I.Veikšins. 10 kV neitrāles zemomīga zemēšana un zemes īsslēgumu aizsardzību iestatījumu izvēle Rīgas ET 1998. gadā.
20. В. Глушко, О. Ямный, Э. Ковалёв, Н. Бохан. Белорусские сети 6-35 кВ переходят на режим заземления нейтрали через резистор. 2006.
21. Watthourmeters. [Tiešsaiste] <http://watthourmeters.com/>.
22. Wikipedia. [Tiešsaiste] http://en.wikipedia.org/wiki/Electricity_meter.
23. Metering International Issue 3. 2003.
24. Metering International Issue 3. 2001.
25. DLMS. [Tiešsaiste] <http://www.dlms.com/index2.php>.
26. IEC. IEC. [Tiešsaiste] <http://www.iec.ch/smartgrid/standards/>.
27. MK. MK noteikumi Nr.40 „Noteikumi par valsts metroloģiskajai kontrolei pakļauto mērīšanas līdzekļu sarakstu”. 09.01.2007.
28. LV. Likums "Par mērījumu vienotību". Rīga : bez nos.
29. parlaments, Eiropas. Direktīva 2004/22/EK „Par mērinstrumentiem”.
30. MK. Noteikumi Nr.914 „Elektroenerģijas tirdzniecības un lietošanas noteikumi”. 29.11.2011.
31. LEK. LEK 123 „Elektroenerģijas uzskaites ierīkošana”.
32. —. LEK025 „Drošības prasības, veicot darbus elektroietaisēs”.
33. komisija, Eiropas. ES mērķi. [Tiešsaiste] http://ec.europa.eu/europe2020/targets/eu-targets/index_lv.htm.
34. padome, Eiropas parlaments un. Direktīva 2009/72/EK „Par kopīgiem noteikumiem attiecībā uz elektroenerģijas iekšējo tirgu un par Direktīvas 2003/54/EK atcelšanu”.
35. MK. Rīkojums Nr. 571 "Enerģētikas attīstības pamatnostādnes 2007. – 2016. gadam". 01.08.2006.
36. Platform, European SmartGrids Technology. Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. European Commission, Community research. 2006.
37. GEODE. Position Paper on Smart Metering. GEODE Working Group Intelligent Networks. November 2009.
38. EPRI. Intelligrid™ Smart Power for the 21st Century. 2005.
39. Smartgrid. [Tiešsaiste] <http://smartgrid.jeju.go.kr/eng/contents/index.php?mid=01>.
40. Commission, Federal Energy Regulatory. Assessment of Demand Response and Advanced Metering. December 2008.
41. What is powerline. [Tiešsaiste] <http://www.powerethernet.com/product/what-is-powerline.html>.
42. LEK. LEK 002 „Energoietaišu tehniskā ekspluatācija”, trešais izdevums, 162 lpp. Rīga : LEK, 2011.
43. Putniņš, J. „Elektroapgādes sistēmas releja aizsardzība un automātika”. Rīga : Zvaigzne, 1993.