

Ainars Knipšis

# Elektrisko pārvades tīklu elektroietaišu ekspluatācija

Mācību palīglīdzeklis



Ainars Knipšis

# Elektrisko pārvades tīklu elektroietaišu ekspluatācija

Mācību palīgīdzeklis

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

ISBN 978-9934-8332-1-2

© SIA Contendo 2012



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



# SATURS

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Vispārīgā daļa.....</b>                                     | <b>4</b>  |
| 1.1. Jēdziens par elektroenerģijas transportēšanu.....            | 4         |
| 1.2. Enerģētisko un elektrisko sistēmu struktūra.....             | 5         |
| 1.3. Elektropārvades līniju klasifikācija.....                    | 10        |
| 1.4. Elektriskajai sistēmai izvirzītās prasības.....              | 11        |
| 1.5. Elektrisko tīklu nominālie spriegumi.....                    | 13        |
| 1.6. Jautājumi paškontrolei.....                                  | 14        |
| <b>2. Vispārīgi pārvades tīklu ekspluatācijas jautājumi .....</b> | <b>15</b> |
| 2.1. Normatīvā bāze.....                                          | 15        |
| 2.2. Ekspluatācijas darbu pamatprincipi.....                      | 16        |
| 2.3. Drošums.....                                                 | 17        |
| <b>3. Spēka transformatori .....</b>                              | <b>18</b> |
| 3.1. Vispārīgās ziņas par transformatoriem.....                   | 18        |
| 3.2. Eļļas transformatoru dzesēšanas palīgierīces.....            | 25        |
| 3.3. Transformatoru iedalījums.....                               | 28        |
| 3.4. Transformatoru galvenie parametri.....                       | 34        |
| 3.5. Autotransformatori.....                                      | 36        |
| 3.6. Sprieguma regulēšana autotransformatoros.....                | 38        |
| 3.7. Jautājumi paškontrolei.....                                  | 41        |
| <b>4. Mērmaiņi.....</b>                                           | <b>42</b> |
| 4.1. Strāvmaiņi.....                                              | 42        |
| 4.1.1. Transformācijas koeficients.....                           | 43        |
| 4.1.2. Strāvmaiņu kļūdas.....                                     | 43        |
| 4.1.3. Strāvmaiņu klasifikācija.....                              | 44        |
| 4.1.4. Strāvmaiņu izvēle.....                                     | 46        |
| 4.2. Spriegummaiņi.....                                           | 47        |
| 4.2.1. Spriegummaiņa galvenie raksturlielumi.....                 | 47        |
| 4.2.2. Spriegummaiņa pievienojuma shēmas.....                     | 48        |
| 4.2.3. Spriegummaiņu izvēle.....                                  | 50        |
| 4.2.4. Jautājumi paškontrolei.....                                | 51        |
| <b>5. Reaktori .....</b>                                          | <b>52</b> |
| 5.1. Reaktoru klasifikācija.....                                  | 52        |
| 5.2. Linijsreaktoru izvēle.....                                   | 53        |
| 5.3. Jautājumi paškontrolei.....                                  | 54        |
| <b>6. Jaudas slēdži .....</b>                                     | <b>55</b> |
| 6.1. Eļļas slēdži.....                                            | 55        |
| 6.2. Elegāzes jaudas slēdži.....                                  | 57        |
| 6.3. Vakuumslēdži un elektromagnētiskie jaudas slēdži.....        | 59        |
| 6.4. Gaisa slēdži.....                                            | 60        |
| 6.5. Jaudas slēdžu izvēle.....                                    | 62        |
| 6.6. Jautājumi paškontrolei.....                                  | 63        |



|                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------|------------|
| <b>7. Augstsprieguma atdalītāji.....</b>                      | <b>64</b>  |
| 7.1. Atdalītāju klasifikācija .....                           | 64         |
| 7.2. Atdalītāju izvēle.....                                   | 66         |
| 7.3. Jautājumi paškontrolei .....                             | 67         |
| <b>8. Nodalītāji un īsslēdzēji.....</b>                       | <b>68</b>  |
| 8.1. Nodalītāji.....                                          | 68         |
| 8.2. Īsslēdzējs.....                                          | 69         |
| 8.3. Nodalītāju un īsslēdzēju izvēle .....                    | 70         |
| 8.4. Jautājumi paškontrolei .....                             | 70         |
| <b>9. Pārvades tīklu apakšstaciju galvenās shēmas .....</b>   | <b>71</b>  |
| 9.1. Shēmu veidi .....                                        | 71         |
| 9.2. Jautājumi paškontrolei .....                             | 76         |
| <b>10. Apakšstaciju augstsprieguma sadalnes iekārtas.....</b> | <b>77</b>  |
| 10.1. Brīvgaisa sadalnes.....                                 | 77         |
| 10.2. Iekštelpu sadalnes .....                                | 79         |
| 10.3. Komplektās sadalnes .....                               | 79         |
| 10.4. Jautājumi paškontrolei .....                            | 80         |
| <b>11. Elektriskās pārvades līnijas.....</b>                  | <b>81</b>  |
| 11.1. Gaisvadu elektropārvades līnijas .....                  | 82         |
| 11.2. Pārvades tīklu kabelīnijas .....                        | 85         |
| 11.3. Jautājumi paškontrolei .....                            | 88         |
| <b>12. Pārvades tīklu pārspriegumu aizsardzība .....</b>      | <b>89</b>  |
| 12.1. Pārspriegumu veidi.....                                 | 89         |
| 12.2. Aizsardzība pret tiešiem zibens spārieniem .....        | 89         |
| 12.3. Pārsprieguma aizsardzība .....                          | 93         |
| 12.4. Cauruļizlādņi.....                                      | 93         |
| 12.5. Ventīļa tipa pārsprieguma novadītāji .....              | 94         |
| 12.6. Zibensnovedēju zemēšana apakšstacijā .....              | 98         |
| <b>Pielikumi .....</b>                                        | <b>99</b>  |
| <b>Izmantotā literatūra .....</b>                             | <b>101</b> |

# 1. VISPĀRĪGĀ DAĻA

## 1.1. JĒDZIENS PAR ELEKTROENERĢIJAS TRANSPORTĒŠANU

Iepriekšējā mācību kursā uzzinājāt, ka elektroenerģiju var ražot dažāda tipa elektrostacijās. Neatkarīgi no sākotnējā enerģijas veida, visās elektrostacijās kopīgs ir mehāniskās enerģijas cikls, ko nodrošina sinhronie trīsfāzu maiņstrāvas ģeneratori, kuros mehāniskā enerģija pārvēršas elektriskajā enerģijā. Tā kā elektroenerģiju uzkrāt nevar, tā ir jānogādā patērētājiem bez pārtraukuma un ar atbilstoši kvalitatē rādītājiem. Tai pašā laikā jāievēro drošības prasības un ekonomiskums. Viens no ekonomiskuma rādītājiem ir iespējami zemāki zudumi elektroenerģijas transportēšanas procesā.

### **Par elektroenerģijas transportēšanu sauc elektroenerģijas pārvadi no barošanas avota līdz elektroenerģijas patērētājiem.**

Lielāko tiesu elektrostacija atrodas tuvāk izejvielu resursiem, un tas var būt ievērojamā attālumā no patēriņa centriem. Ar ko tad ir saistīti transportēšanas zudumi? Ielūkosimies elektroenerģijas pārvades attīstības vēsturē. Pirmie mēģinājumi bija saistīti ar līdzstrāvu. 1873. gadā franču inženieris H. Fontēns Vīnē atklāja pirmo līdzstrāvas pārvades līniju 1 km garumā ar pārvadāmo jaudu 1 ZS (750 W). Šis gads arī tiek uzskatīts par elektroenerģijas pārvades sākumu. 1876. gadā arī krievu inženieris F. Pirockis pārvadīja 6 ZS (4,4 kW) jaudu pa līdzstrāvas elektropārvades līniju 1 km attālumā. Interesanti, ka viņš par vadītāju izmantoja no zemes izolētas dzelzceļa sliedes. Lietderības koeficients bija ļoti zems. Tātad vispirms bija jāatrisina problēma, **kā pārvadīt elektroenerģiju lielos attālos.** 1880. gadā šo jautājumu pirmo reizi teorētiski pamatoja krievu zinātnieks D. Lačinovs zinātniskajā darbā “Elektromehāniskais darbs”. Lai pārvadītu lielu jaudu lielos attālos un samazinātu jaudas un elektroenerģijas zudumus, **vienīgā iespēja bija paaugstināt spriegumu.** To panāca, saslēdzot virknē vairākus līdzsprieguma avotus. Bet problēma bija tā, ka nebija sprieguma pazemināšanas iekārtu un nevarēja pieslēgt mazas jaudas elektroenerģijas patērētājus, tai skaitā apgaismes ķermeņus. 1882. gadā franču zinātnieks M. Deprē un vācu inženieris V. Millers pārvadīja 3 ZS (2,2 kW) jaudu pa līdzstrāvas pārvades līniju 57 km attālumā no Mīsbahas līdz Minheni. Līnijas spriegums bija 2000 V. Lietderības koeficients joprojām bija zems – tikai 25%. Paralēli notika darbs arī pie maiņstrāvas attīstības, te jāpiemin transformatora izgudrošana 1882. gadā, ko veica N. Usagins. Pēc tā maiņstrāvas pielietošanai pavērs plašas perspektīvas. Spriegumu pēc vajadzības varēja gan paaugstināt, gan pazemināt. Jauns posms sākās pēc 1888. gada, kad krievu inženieris M. Doļivo-Dobrovoļskis izgudroja trīsfāzu ģeneratoru un elektrodzinēju. Viņa vadībā 1891. gadā Vācijā uzbūvēja pirmo trīsfāzu maiņstrāvas elektropārvades līniju no Laufenes hidroelektrostācijas līdz Frankfurtei pie Mainas. Līnijas garums bija 175 km, pārvadītā jauda – 230 kVA, līnijas spriegums – 15 kV, ko vēlāk paaugstināja līdz 28 kV. Lietderības koeficients jau bija 79 %. Sākās strauja maiņstrāvas elektrisko tīklu attīstība, jo tiem bija lielas tehniskās un ekonomiskās priekšrocības. Galīgo pārsvaru nodrošināja 1912. gadā Vācijā izgudrotie piekarizolatori, kas deva iespēju ātrai, lētai un drošai vadu montāžai. Tālāk elektrisko tīklu attīstības vēsture saistīta ar nominālā sprieguma paaugstināšanu. Laika posmā no 1908. gada līdz 1910. gadam uzbūvēja pirmās 110 kV elektropārvades līnijas. Protams, paaugstinot spriegumu, palielinājās arī tehniskie izdevumi, kas saistīti ar izolācijas pastiprināšanu, iekārtu konstruktīvo izbūvi, koronas parādības novēršanu, zudumu samazināšanu, jāatrisina arī problēmas ar atmosfēras un iekšējiem pārspriegumiem. Par to runāsim turpmākajās nodaļās. Tātad, kā redzam, elektroenerģijas pārvades vēsturē pirmajā vietā izvirzījās maiņstrāva. Bieži uzdod jautājumu – kas ir labāks, līdzspriegums vai maiņspriegums? Atbilde ir vienkārša: nav labāks vai sliktāks, ir ekonomiskie rādītāji, kas elektroenerģijas attīstības vēsturē nodrošināja priekšrocības maiņstrāvas izmantošanai. Tai pašā laikā arī līdzspriegums tiek plaši izmantots, piemēram, elektroniskajās ierīcēs, sabiedriskajā transportā utt.

Šī nelielā pārskata noslēgumā gribu uzrunāt tos, kam ir meklētāja gars, tos, kas vienmēr meklē ko jaunu. Vēl joprojām iespējami jaunatklājumi enerģijas un elektrības jomās. Šajā ziņā ļoti spilgta personība bija N. Tesla. 1887. gadā viņš ieguva vairākus patentus uz tā laika konkurējošo elektrības izplatīšanas formu jeb maiņstrāvu, viņa izgudrojumi ir, piemēram, indukcijas motori un polifāzes sistēmas, kas būtiski ietekmēja nozares attīstību. Viņa oponents bija amerikāņu elektronīķis un izgudrotājs T. Edisons, kurš starptautiski atzīts par vienu no ievērojamākajiem 20. gadsimta zinātniekiem. Viņa izgudrojumi ir kvēlspuldze, ogles mikrofons, telegrāfa pilnveidošana, fonogrāfs, megafons, viņš uzbūvēja pirmo termoelektrocentrāli, atklāja termoelektronu emisiju. Pēc 1887. gada starp abiem zinātniekiem izvērsās smaga konkurences cīņa. Vēsturē tas iegājis ar nosaukumu “War of Currents” (“Strāvu karš”). Protams, kopumā šis process daudz palīdzēja enerģētikas attīstībai. Bet, lai veiktu pētījumus, eksperimentus, un nodrošinātu to ieviešanu dzīvē, ir nepieciešams finansiālais atbalsts. Bieži tas ir nevis valsts nodrošinājums, bet privāta iniciatīva. N. Tesla šo atbalstu zaudēja, kad paziņoja, ka vadi vairs nav vajadzīgi, ka elektrību var iegūt no jebkura telpas punkta. Viņš piedāvāja sistēmu, kas nodrošinātu ar ļoti lētu elektroenerģiju praktiski neierobežotā teritorijā. Ar šiem priekšlikumiem viņš vērsās

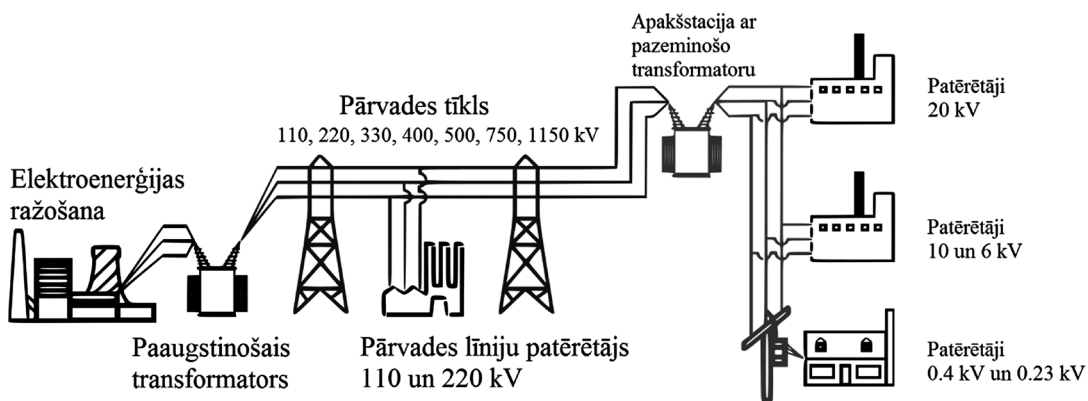
pie vairāku valstu valdībām, bet neviena valdība neatsaucās, interesi izrādīja tikai militārie resori. N. Tesla apzinājās, ka viņa atklājumi, nonākot militāristu īpašumā, var nodarīt cilvēcei milzu postu, un dzīves noslēgumā iznīcināja visus savus atklājumus un pierakstus. Viņš aiz sevis atstāja daudz miklu, viņa paveiktais ir rosinājis meklējumiem ļoti daudz cilvēku visā pasaulē. Ir zināms, ka N. Tesla strādāja ar tā sauktajiem torsionu laukiem. Mūsdienās šai tēmai tiek veltīti starptautiski simpoziji, Krievijā ir veseli institūti, kas ar to strādā. Tā ka ir ļoti iespējams, ka nākotnē mūs gaida daudz jaunu atklājumu. Par to var pārliecināties jebkurš, pasekojot līdz jaunākajiem zinātnes sasniegumiem, atziņām un tendencēm. Izmantojiet apgūtās zināšanas, papildiniet un pilnveidojiet tās.

## 1.2. ENERĢĒTISKO UN ELEKTRISKO SISTĒMU STRUKTŪRA

Lai apgūtu elektrisko pārvades tīklu elektroietaišu ekspluatāciju, jāapskata un jāizprot energosistēmas struktūra un darbība kopumā. Noskaidrosim atšķirības starp pārvades tīkliem un sadales tīkliem, kā arī esošās struktūras darbības hierarhiju Latvijā.

**Par energosistēmu sauc enerģijas avotu, enerģijas pārvades un enerģijas patērētāju sistēmas kopumu, kas saskaņotas darbības rezultātā ražo, pārveido, pārvada, sadala un patērē elektroenerģiju un/vai siltuma enerģiju.**

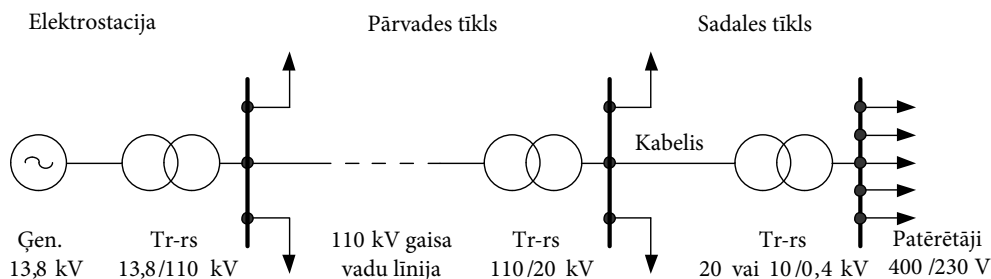
Lieto nosaukumu **energosistēma jeb enerģētiskā sistēma**, kas apzīmē vienu un to pašu. Pie šīs sistēmas ir pieskaitāmi arī energoresursu avoti. Piemēram, enerģētiķa pienākumos ietilpst atbildība par elektroenerģētiskajiem jautājumiem, siltumtīkliem un par kurināmā resursiem. Tātad energosistēmu veido sarežģītu elementu kopums, kas sastāv no apakšsistēmu struktūrām, kuras apkalpo konkrētu valsts teritorijas. Piemēram, 1991. gadā, pēc PSRS sabrukuma, Latvija, Lietuva un Igaunija izveidoja Baltijas valsts energosistēmu apvienību ar dispečercentru Rīgā. Starp sistēmām pastāv ciešas materiālās, enerģētiskās un informatīvās saites. Struktūrai piemīt hierarhisks raksturs, jo sistēmai ir jānodrošina patērētāju iekārtu nepārtraukta funkcionēšana, kas saistīta gan ar enerģijas atbilstību noteiktiem standartiem, gan ar maksimāli zemiem izdevumiem. Energosistēmas principiālā shēma ir dota 1.1. att..



1.1. att. Energosistēmas shēma.

**Par elektrisko sistēmu sauc energosistēmas daļu, kas sevī ietver enerģijas ražošanu, enerģijas pārvadi, sadali un enerģijas patērētāju kopumu.**

Citiem vārdiem sakot, elektriskā sistēma ražo, sadala un pārveido tikai elektrisko enerģiju. Tajā ietilpst ģeneratori, bet neietilpst primārie dzinēji un siltuma tīkli. Tā ir elektrosistēmas daļa, kas pārvada un sadala elektroenerģiju un sastāv no savstarpēji savienotām elektrolīnijām, elektriskajām apakšstacijām un sadalietaisēm.



1.2. att. Elektriskās sistēmas principiālā shēma.

1.2. att. redzam ģeneratoru, kas ražo elektroenerģiju, un transformatoru, kurš paaugstina spriegumu līdz vērtībai, kāda nepieciešama konkrētam pārvades attālumam. Latvijā tie ir 330 kV, 110 kV un perspektīvā arī 400 kV. Tālāk ir apakšstacija, no kuras atzarojas pārvades līnijas. Pārvades līnijas otrā galā ir pazeminošais transformators, kurš pazemina spriegumu līdz **sadales tīkla** spriegumam. Latvijā tie ir 20 kV, 10 kV, 6 kV. Tālāk spriegums tiek aizvadīts pa sadales tīkla elektropārvades līnijām līdz transformatoru apakšstacijām, kas samazina spriegumu līdz patērētājam nepieciešamajam. Latvijā tas ir 0,4/0,23 kV. Plašāka elektropārvades līniju klasifikācija tiks sniegta nākamajā nodaļā.

Apskatījām enerģosistēmu (enerģētiskā sistēma) un elektrisko sistēmu. Nākamais termins ir **elektriskie tīkli**:

**Elektrotīkls – elektrosistēmas daļa, kas pārvada un sadala elektroenerģiju un sastāv no savstarpēji savienotām elektrolīnijām, elektriskajām apakšstacijām un sadalietaisēm.**

No 1.1. att. varam secināt, ka pārvades tīkls sevī ietver elektriskās iekārtas un aparātus, sākot ar spriegumu paaugstinošiem transformatoriem elektrostacijās, līdz elektropārvades līnijām ar spriegumu pazeminošiem transformatoriem apakšstacijās. Esam nonākuši līdz enerģosistēmas daļai, ar kuru jums jāiepazīstas un kura jums jāapgūst šajā mācību programmā. Pārējie Latvijā ir sadales tīkli. **Sadales tīkls** sevī ietver elektriskās iekārtas un aparātus sākot ar 20 kV apakšstacijām, 20 kV, 10 kV, 6 kV elektropārvades līnijām, sadales punktiem, transformatoriem un zemsprieguma tīkliem.

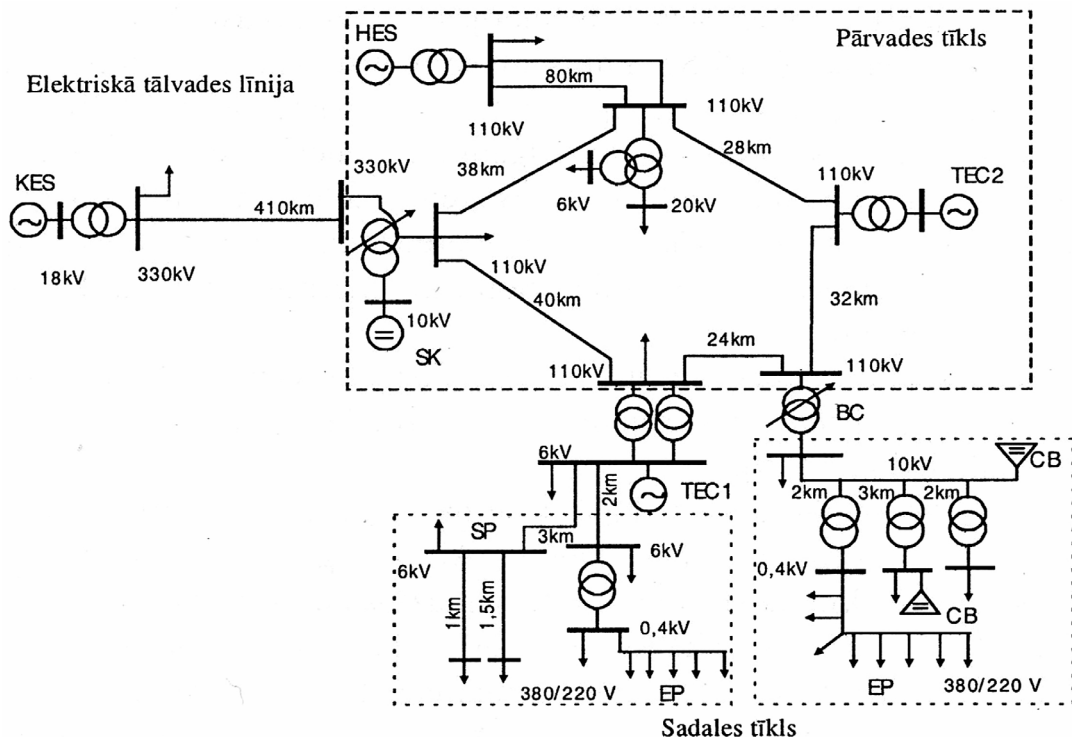
**Elektroiekārta – jebkura iekārta, kas paredzēta elektroenerģijas ražošanai, pārveidošanai, pārvadei, sadalei vai patēriņam.**

Elektriskās iekārtas un aparāti konkrētos gadījumos ir izveidoti ar vienotu darbības mērķi, un tāpēc tiek lietots termins – **elektroietaise**.

**Elektroietaise – vairāku savstarpēji saistītu elektroiekārtu un konstrukciju kopums, kas paredzēts kopīgu funkciju veikšanai.**

Parādās arī jauns termins – **barošanas centrs (BC)**.

**Barošanas centrs ir elektrostaciju ģeneratoru sprieguma sadales iekārta, kā arī pazeminošo apakšstaciju sekundārā sprieguma sadales kopnes, kurās ir iespējama sprieguma regulēšana zem slodzes.**

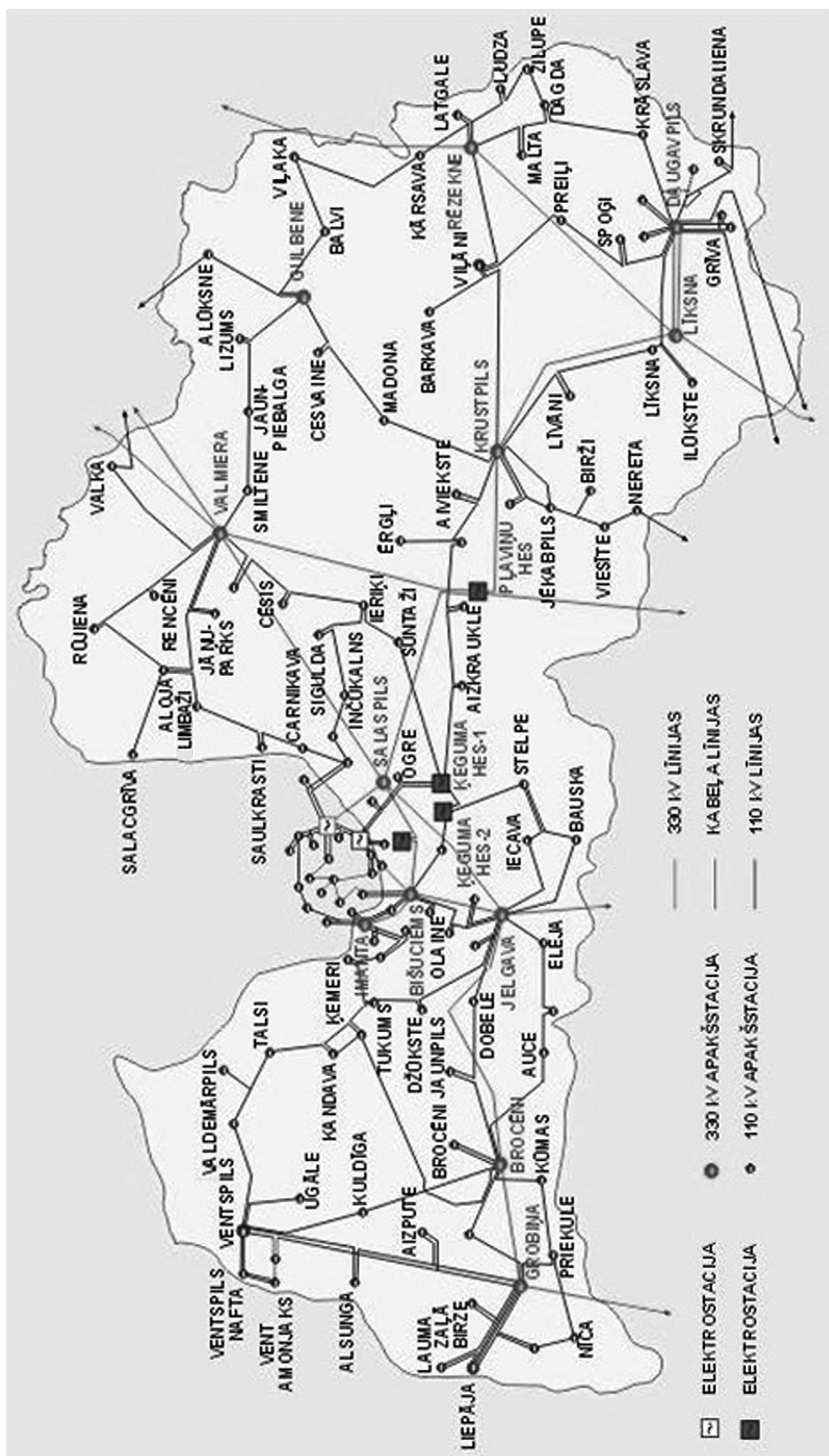


1.3. att. Elektriskās sistēmas shēma.

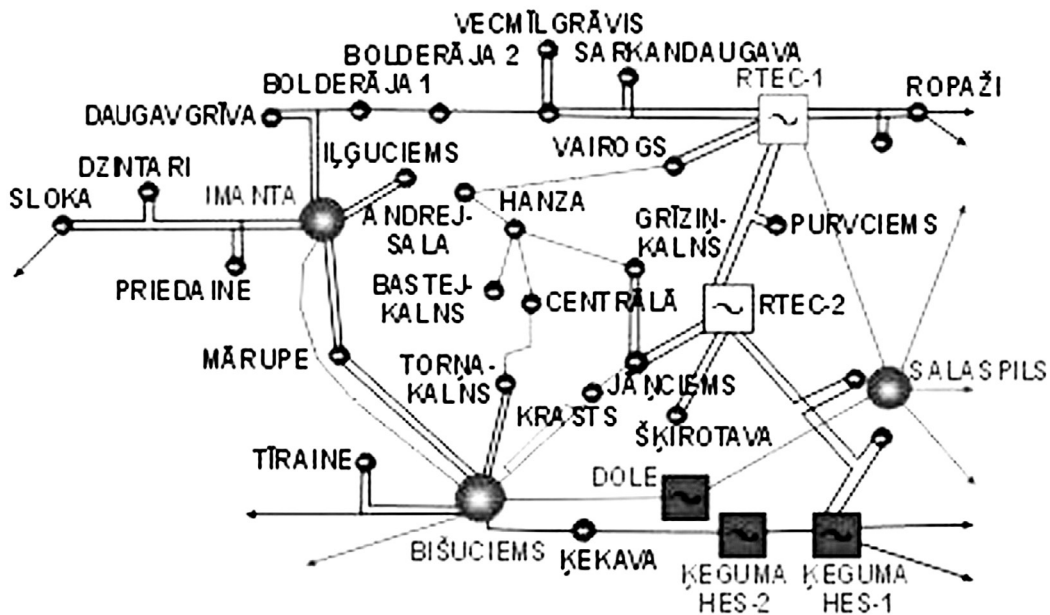
Tā kā energosistēmas ir saistītas, elektrostacijas var atrasties arī citas valsts teritorijā. Jebkurā gadījumā elektroenerģijas transportēšanai ir nepieciešamas jau pieminētās **elektropārvades līnijas (EPL)**:

**Par elektropārvades līniju (EPL) sauc jebkura sprieguma gaisvadu un kabelu elektroietaisi, kura paredzēta elektroenerģijas pārvadīšanai noteiktā attālumā.**

Latvijas 110 – 330 kV elektropārvades līniju shēma ir redzama 1.4. att., tāds ir stāvoklis 2011. gadā. Tā kā Latvijā ir ģenerējošo jaudu deficīts, daļa elektriskās enerģijas ir jāiepērk no kaimiņvalstu energosistēmām. Savukārt, ja ir saražotās enerģijas pārpalikums, to var izdevīgi realizēt kaimiņvalstīm. Ar Lietuvu mūs saista četras 330 kV EPL – Klaipēdas, Šauļu, Paņevēžas un arī Ignalinas AS, ar Igauniju mūs saista divas 330 kV EPL, Krievijā ar Veļikoreckaju – viena 330 kV EPL. Nākotnē paredzēts izbūvēt saites līnijas uz Ziemeļvalstu (Zviedrijas, Somijas) energosistēmām, kā arī saites līniju caur Lietuvu uz Polijas energosistēmu.







1.4.b. att. Rīgas loka 110 – 330 kV elektropārvades līniju shēma.

Apvienojot un veidojot starpsistēmu saites, tiek iegūtas būtiskas priekšrocības gan no tehniskā, gan no ekonomiskā viedokļa:

- iespējams palielināt atsevišķu generatoru, turbīnu jaudu, tādā veidā paaugstinot lietderības koeficientu un samazinot elektroenerģijas izstrādes īpatnējās izmaksas (Ls/kW);
- tiek panākts lielāks elektroenerģijas piegādes drošums un elektroenerģijas piegādes kvalitāte;
- pieaug darba režīma ekonomiskie rādītāji dažāda tipa elektriskajās stacijās;
- samazinās nepieciešamās rezerves jauda elektriskajās stacijās;
- iespējama jaudas apmaiņa starp atsevišķām energosistēmām;
- energosistēmā kopumā samazinās summārā uzstādītā jauda;
- rodas iespēja attīstīt brīvo elektroenerģijas tīklu.

Pārvadot elektroenerģiju noteiktā attālumā, spriegums tiek paaugstināts vai pazemināts līdz nepieciešamajam līmenim. Šo funkciju veic **transformatori**.

**Transformatori ir elektroiekārta mainsprieguma paaugstināšanai vai pazemināšanai.**

Transformatori atrodas transformatoru **apakšstacijās** (AS). Transformatoru apakšstacijas pārveido un sadala elektroenerģiju.

**Elektriskā apakšstacija – elektroietaise, kas sastāv no elektrolīniju ievadkonstrukcijām, pārveidotājiem, sadalītajiem (vai tikai no pārveidotājiem, vai sadalītajiem), aizsardzības un vadības ierīcēm, ēkām, būvēm un nesošajām konstrukcijām, un pārvada un sadala (vai tikai pārvada vai sadala) elektroenerģiju, (mainot vai nemainot spriegumu).**

Ja spriegums tiek paaugstināts, tad AS sauc par **spriegumu paaugstinošām** vai **barojošām**, ja spriegums tiek samazināts, tad AS sauc par **sprieguma pazeminošām** vai **uztverošām**.

### 1.3. ELEKTROPĀRVADES LĪNIJU KLASIFIKĀCIJA

Iepriekšējā nodaļā noskaidrojām, ka ir dažāda sprieguma elektroenerģijas pārvades līnijas. Apskatīsim kā EPL iedalās un kā tiek klasificētas. EPL iedalījums pēc **funkcionālās** nozīmes:

**Pārvades līnijas** – nodrošina elektroenerģijas pārvadi no elektrostacijām līdz slodžu barošanas centriem. Pārvades līniju nominālie spriegumi ir 110 kV, 150 kV, 220 kV, 330 kV, 400 kV. Pārvades līnijas kopā ar transformatoriem veido **elektriskās sistēmas pārvades tīklu**.

**Sadales līnijas** – nodrošina elektroenerģijas piegādi sadales tīklu transformatoriem. Sadales līniju nominālie spriegumi ir 0,4 kV, 0,6 kV, 6 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV. Sadales līnijas kopā ar attiecīgajiem transformatoriem un sadales punktiem veido **sadales tīklu**. Sadales punkts ir elektroietaise, kurā pienākošā barojošā elektroenerģija tiek sadalīta pa vairākām elektropārvades līnijām. Līnijas ir aprīkotas ar aizsardzību, uzskaiti un vadību, bet nav transformatora, kas pārveidotu sprieguma vērtību.

EPL iedalījums pēc **sprieguma** vērtības:

- Superaugsta sprieguma līnijas (500 kV, 750 kV, 1150 kV).
- Augstsprieguma līnijas (110 kV, 330 kV, 400 kV).
- Vidējā sprieguma līnijas (6 – 20 kV; 35 kV).
- Zemsprieguma līnijas (0,4 – 0,66 kV).

Attiecīgi elektropārvades līnijas kopā ar transformatoriem veido:

- Superaugsta sprieguma tīklus;
- Augstsprieguma tīklus;
- Vidējā sprieguma tīklus;
- Zemsprieguma tīklus.

Šeit ir jāpiebilst, ka Latvijā atbilstoši LEK 025. 3. izd. p. 3.6 (**Drošības prasības, veicot darbus elektroietaisēs**), ir noteikts, ka:

**Augstspriegums** – elektroietaisē nominālais darba spriegums virs 1000 V maiņsprieguma vai 1500 V līdzsprieguma.

**Zemspriegums** – spriegums, kurš nepārsniedz 1000 V maiņsprieguma vai 1500 V līdzsprieguma.

EPL iedalījums pēc **teritoriālā sadalījuma**:

- Elektriskās **tālvades** līnijas. Šīs līnijas savieno lielaudas elektrostacijas ar elektroenerģijas patēriņa rajoniem vai centriem, kā arī pilda saites funkciju starp atsevišķām energosistēmām. Tālvades līniju nominālie spriegumi ir 330 kV, 400 kV, 500 kV, 750 kV, 1150 kV. Attālumi, kādos būvē šīs līnijas, ir lielāki par 250 – 300 km.
- **Rajona nozīmes** elektropārvades līnijas. Šīs līnijas izbūvē lielu rajonu vai valsts teritorijā, lai piegādātu elektroenerģiju barošanas centriem (BC). Rajona nozīmes elektropārvades līniju nominālie spriegumi ir 110 kV, 220 kV, 330 kV. Attālumi, kādos būvē šīs līnijas un darbības rādiuss ir 250 līdz 300 km. Rajona nozīmes EPL kopā ar saites transformatoriem veido **rajona nozīmes elektriskos tīklus**.
- **Vietējās nozīmes** elektropārvades līnijas. Šīs līnijas izbūvē, lai piegādātu elektroenerģiju tieši patērētājam. Vietējās nozīmes elektropārvades līniju nominālie spriegumi ir 6 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV. Attālumi, kādos būvē šīs līnijas, un darbības rādiuss ir 15 līdz 35 km. Šeit tiek pieskaitītas arī zemsprieguma EPL. Vietējās nozīmes elektropārvades līnijas kopā ar transformatoriem un sadales punktiem veido **vietējos elektriskos tīklus**.

EPL iedalījums pēc **konstruktīvā risinājuma**:

- **Gaisvadu līnijas** – tiek darinātas no kailvadiem un montētas uz balstiem.
- **Gaisvadu līnijas ar izolētiem vadiem** – tiek darinātas no izolētiem, savstarpēji vītiem vadiem un montētas uz balstiem, sauc arī par “piekarkabeļiem”.

**Gaisvadu elektrolīnija – elektrolīnija, kuras vadi nostiprināti balstos uz izolatoriem, vai piekarkabeļi noteiktā augstumā virs zemes.**

- **Kabeļu līnijas** – tiek darinātas no kabeļiem. Ir gan zemsprieguma, gan vidsprieguma, gan augstsprieguma kabeļi. Parasti kabeļus gulda zemē.

**Kabeļu elektrolīnija – elektrolīnija, ko veido īpaši izolēts vads (kabelis), kur kopējā apvalkā atrodas izolēti viendzīslas vai daudzdzīslu vadi un kas guldīts zemē, izvietots uz ēku sienām, kabeļkanālos, kabeļcaurulēs.**

- **Iekšējie instalācijas tīkli** – tiek izveidoti no kabeļiem un izolētiem vadiem.

EPL iedalījums pēc **strāvas veida**:

- **Mainstrāvas.**
- **Līdzstrāvas.**



EPL iedalījums pēc **patērētāja rakstura**:

- **Pilsētas** elektriskie tīkli.
- **Rūpniecības** uzņēmumu elektriskie tīkli.
- **Lauksaimniecības** elektriskie tīkli.

## 1.4. ELEKTRISKAJAI SISTĒMAI IZVIRZĪTĀS PRASĪBAS

Energosistēma un elektriskā sistēma var pastāvēt tikai tad, ja ir patērētāji. Līdz ar to, balstoties uz elektroenerģijas patērētāju vajadzībām, tiek izvirzītas vairākas kopīgas prasības. Tās ir tādas, kā ekonomiskais izdevīgums, noteikts darbības drošums, noteiktas kvalitātes elektroenerģija.

Jābūt **ekonomiskajam izdevīgumam**. Tas tiek iestrādāts jau projektēšanas stadijā, ņemot vērā perspektīvās attīstības iespējas, optimizējot un atrodot labākos variantus. Tā kā būvniecības ieguldījumi ir lieli, paredzamajam ekspluatācijas laikam arī jābūt pietiekami ilgam. Laika gaitā dažādas iekārtas nolietojas un noveco, līdz ar to jāparedz iespēja atjaunot, modernizēt, uzlabot tīklu caurlaidību un drošumu. Šeit tiek ņemti vērā gan kapitālieguldījumi, gan ekspluatācijas un remonta izdevumi, gan iespējamie zaudējumi un zudumi. Citiem vārdiem sakot, tiek ņemti vērā visi faktori, kas sistēmā veido elektroenerģijas pašizmaksu, ar mērķi maksimāli to samazināt.

Jābūt **noteiktam darbības drošumam**. Ar drošumu saprot spēju nodot tīklā nepieciešamo jaudu atbilstoši plānotajiem grafikiem, ko sauc par slodzes grafikiem. Summārais elektroenerģijas patēriņš ir atšķirīgs gan dienā un naktī, gan pa sezonām. Elektroenerģiju uzkrāt lielos apmēros nav iespējams, tādēļ gan elektroenerģijas ražošana, gan patēriņš ir cieši saistīti vienā kopumā. No tā izriet, ka jābūt līdzsvaram starp ražošanu un patēriņu. To nodrošina prognozējamie slodzes grafiki, kas var būt dažādi pēc raksturlielumiem, bet saistīti ar konkrētu laika periodu, tos attēlo grafiskā veidā. Slodzes grafiki var būt diennakts, gada, maiņas. Mērāmie lielumi var būt strāva, aktīvā jauda, reaktīvā jauda, kopīgā jauda. Prognozējamie slodžu grafiki sadalās arī pa apskatāmajiem laika periodiem:

- Ilgtermiņa prognoze – paredzēta uz 10 gadiem un kalpo nepieciešamo enerģētisko jaudu projektēšanai un ieviešanai;
- Vidējā termiņa prognoze – tiek attiecināta uz 3 – 5 gadiem un arī kalpo perspektīvai plānošanai un ieviešanai;
- Gada prognoze – kalpo, lai varētu iekārtas kārtējos remontus;
- Īstermiņa prognoze – paredzēta diennakts režīmu koordinēšanai un vadīšanai.

Ļoti svarīga loma ir katra atsevišķa elementa (piemēram, transformatora, jaudas slēdža, atdalītāja, slodzes slēdža, EPL un citu) drošumam.

Jābūt **noteiktas kvalitātes elektroenerģijai**. Lai elektroenerģijas patērētāji varētu strādāt ar vislielāko ekonomisko efektu, visi elektriskie aparāti un iekārtas ir būvēti atbilstoši noteiktiem standartiem. Sekojoši, arī elektriskajā sistēmā pārvadītajai elektroenerģijai ir jāatbilst noteiktiem kvalitātes rādītājiem. Tomēr reālos elektriskajos tīklos rodas novirzes, kas pasliktina elektroenerģijas patērētāju iekārtu darbību. Tā kā tehniski tas rada ekonomiskus zaudējumus, novirzes no ideālajiem rādītājiem ir nepieciešams ierobežot. Pieļaujamo noviržu normas tiek fiksētas elektroenerģijas kvalitātes valsts standartos un tās tiek noteiktas visās valstīs. Laika gaitā šie normatīvi var mainīties, jo attīstās gan elektriskie tīkli, gan elektroenerģijas patērētāju iekārtas. Tas nozīmē, ka normatīvi tiek piemēroti reālajiem apstākļiem, ņemot vērā gan ekspluatācijas pieredzi, gan energosistēmas attīstības pieredzi.

Eiropas Savienībā ir spēkā standarts EN 50160, savukārt Latvijā, balstoties uz šo standartu, spēkā ir nacionālais standarts un tīkla kodeksā dotie normatīvi. Pēc šī standarta trīsfāžu maiņsprieguma tīklā ir noteikti seši normētie parametri.

- Sprieguma novirzes.
- Sprieguma svārstības (mirgošana).
- Frekvences novirze.
- Frekvences svārstības.
- Trīsfāžu sprieguma nesimetrija.
- Sprieguma nesusoidālitate.

*Sprieguma novirze* – elektriskā tīkla punkta faktiskā sprieguma atšķirība no nominālā tīkla sprieguma vērtības relatīvi lēnā režīma izmaiņā un to izsaka procentos:

$$V = \frac{U - U_{nom}}{U_{nom}} \cdot 100$$

$V$  – sprieguma novirze %;  $U$  – sprieguma efektīvā vērtība tīkla punktā;  $U_{nom}$  – nominālais tīkla spriegums.

Stabilā elektroenerģijas sistēmas darba režīmā sprieguma novirzes norma ir  $\pm 10\%$ . Nenormālā darba režīmā parādās sprieguma iekritumi.

Sprieguma iekrituma gadījumā pieslēguma vietā notiek pēkšņa sprieguma pazemināšanās līdz vērtībai starp 90% un 1% no nominālā sprieguma, kam seko sprieguma atjaunošanās laika intervālā no 10 ms līdz vienai minūtei. Sprieguma izmaiņas, kurās barošanas spriegums nepazeminās zem 90% no nominālā sprieguma  $U_{nom}$  vērtības, netiek uzskatītas par sprieguma iekritumiem.

*Sprieguma svārstības* – sprieguma novirzes izmaiņas ātrums laika vienībā, kas ir lielāks par 1% sekundē. Sprieguma svārstības rezultātā rodas mākslīgās gaismas mirgošana (Plt), kas slikti iespaido redzi un nervu sistēmu. Normālos darba apstākļos ilgstošais mirgošanas stiprums, ko izraisa sprieguma svārstības, 95% no nedēļas kopa laika nedrīkst pārsniegt  $Plt = 1,0$ .

Sprieguma svārstības var definēt kā maksimālā un minimālā sprieguma novirzes starpību laika momentā:

$$\Delta V_{max} = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{nom}} \cdot 100 = V_{max} - V_{min}$$

$\Delta V_{max}$  – sprieguma svārstības;  $U_{max}$  – maksimālais spriegums tīkla punktā;  
 $U_{min}$  – minimālais spriegums tīkla punktā;  $V_{max}$  – lielākā sprieguma novirze procentos;  
 $V_{min}$  – mazākā sprieguma novirze procentos.

*Frekvences novirze* – normētais lielums ir  $\pm 0,1$  Hz. Frekvences tekošā vērtība tiek noteikta kā vidējā vērtība 10 min laikā.

*Frekvences svārstības* – ir saistītas ar frekvences izmaiņas ātrumu. Tās nedrīkst pārsniegt 0,4% sekundē, jeb 0,2 Hz.

Trīsfāžu sprieguma nesimetrija – to rada patērētāju nevienmērīga vienfāzes slodze. Fāžu slodžu nesimetrija savukārt rada strāvu un spriegumu pretsecības un nullsecības komponentes.

Pretsecības spriegumu raksturo ar pretsecības koeficientu

$$k_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100$$

$k_2$  – pretsecības koeficients;  $U_1$  – pamatfrekvences sprieguma efektīvā vērtība;  $U_2$  – pamatfrekvences pretsecības sprieguma efektīvā vērtība.

*Strāvas un sprieguma nesinusoidālītāte* – šos kropļojumus rada energosistēmā esošie nelineārie elementi (transformatoru serdeni) un pusvadītāju elementi pie patērētāja (datori, regulējamie tiristoru taisngrieži un pārveidotāji). Nesinusoidālās strāvas un spriegumi ir sarežģītas periodiskās svārstības, kas sastāv no dažādu frekvenču harmonisko svārstību virknes. Augstāko harmonisko sastāvdaļu saturu energosistēmā raksturo ar diviem rādītājiem: n-tās harmonikas sastāvdaļas koeficientu

$$k_n = \frac{U_n}{U_1} \cdot 100$$

$k_n$  – n-tās harmonikas sastāvdaļas koeficients;  $U_n$  – n-tās frekvences sprieguma efektīvā vērtība.

un spriegumu formas nesinusoidalitātes koeficientu

$$k_h = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2}}{U_1} \cdot 100$$

Atsevišķo harmoniku sprieguma vērtības norma procentos no nominālā sprieguma  $U_n$  līdz kārtas skaitlim 25 ir dotas Tīkla kodeksā. Izvērstāk par elektroenerģijas kvalitātes rādītājiem tiek apskatīts mācību kursā par elektroenerģijas patērētājiem.

## 1.5. ELEKTRISKO TĪKLU NOMINĀLIE SPRIEGUMI

Elektrisko tīklu, elektroenerģijas avotu un elektroenerģijas patērētāju nominālo spriegumu nosaka Valsts standarts. Latvijas enerģosistēmas nominālo maiņspriegumu skala virs 1000 V ir parādīta 1.5. tabulā

| Elektropārvades līniju<br>un elektroenerģijas<br>patērētāju $U_{\text{nom}}$ kV | Nominālais spriegums uz spailēm, kV        |                                      |                | Elektrisko tīklu<br>maksimālais<br>spriegums,<br>$U_{\text{maks}}$ kV |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                                                                                 | Ģeneratori<br>un sinhronie<br>kompensatori | Transformatori un autotransformatori |                |                                                                       |
|                                                                                 |                                            | Primārā puse                         | Sekundārā puse |                                                                       |
| 6                                                                               | 6,3                                        | 6 un 6,3                             | 6,3 un 6,6     | 6,9                                                                   |
| 10                                                                              | 10,5                                       | 10 un 10,5                           | 10,5 un 11     | 11,5                                                                  |
| 20                                                                              | 17                                         | 20 un 21                             | 21 un 22       | 23                                                                    |
| 110                                                                             | -                                          | 110                                  | 121            | 126                                                                   |
| 330                                                                             | -                                          | 330                                  | 347            | 363                                                                   |

1.5. tabula. Latvijas enerģosistēmas nominālo maiņspriegumu skala virs 1000 V.

Latvijā, atbilstoši Tīkla kodeksam, stabilā darba režīmā pārvades sistēmas operators 110 kV tīklā nodrošina spriegumu robežās no 100 – 123 kV, bet 330 kV tīklā nodrošina spriegumu robežās no 300 – 362 kV.

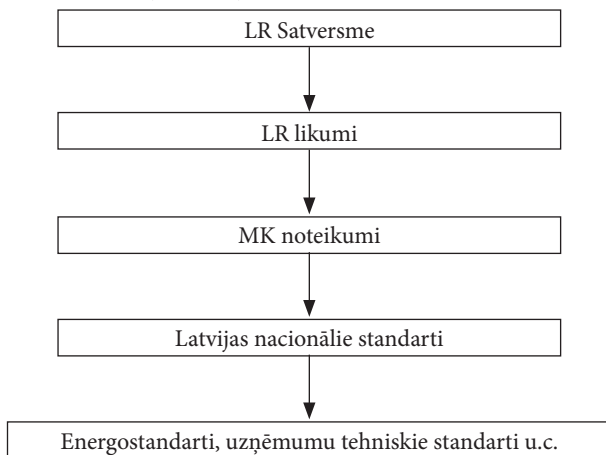
## 1.6. JAUTĀJUMI PAŠKONTROLEI

1. Ko sauc par energosistēmu?
2. Ko sauc par elektrisko sistēmu?
3. Kas ir elektriskais tīkls?
4. Ko sauc par barošanas centru?
5. Ko sauc par elektropārvades līnijām?
6. Kas ir elektroietaise?
7. Kā visekonomiskāk var transportēt elektroenerģiju?
8. Ko sauc par transformatoru apakšstaciju?
9. Kā iedalās elektropārvades līnijas pēc funkcionālā iedalījuma?
10. Kā iedalās elektropārvades līnijas pēc sprieguma vērtības?
11. Kas ir tālvades elektropārvades līnijas?
12. Kas ir rajona nozīmes elektropārvades līnijas?
13. Kas ir vietējās nozīmes elektropārvades līnijas?
14. Kā elektropārvades līnijas iedalās pēc konstruktīvā risinājuma?
15. Ko elektriskajā sistēmā saprot ar ekonomisko izdevīgumu, ar ko tas saistīts?
16. Ko elektriskajā sistēmā saprot ar darbības drošumu, ar ko tas saistīts?
17. Kādi ir elektroenerģijas kvalitātes rādītāji?
18. Ar ko atšķiras sprieguma novirzes no sprieguma svārstībām?
19. Kas notiks, ja spriegums elektriskajā sistēmā nokritīsies zem normatīvajiem lielumiem?
20. Ar ko atšķiras frekvences novirzes no frekvenču svārstībām?
21. Kas notiks, ja frekvence energosistēmā nokritīsies zem normatīvajiem lielumiem?
22. Kas ir elektropārvades līnijas nominālais spriegums?

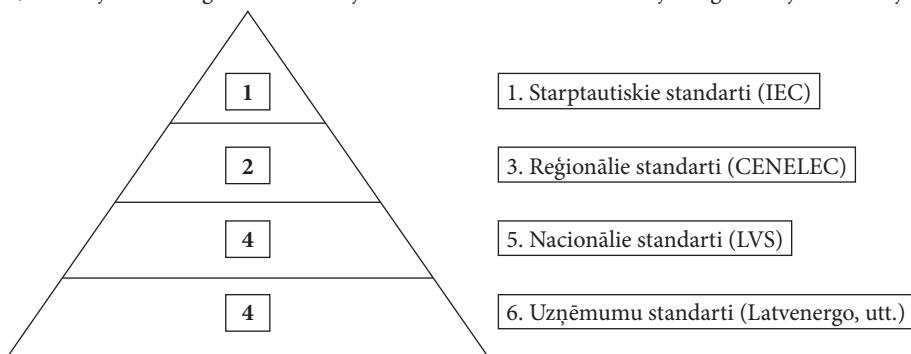
## 2. VISPĀRĪGI PĀRVADES TĪKLU EKSPLUATĀCIJAS JAUTĀJUMI

### 2.1. NORMATĪVĀ BĀZE

Latvijas Republikā tiesību aktu hierarhija ir sekojoša:



Izstrādājot standartus, tiem ir jāatbilst augstākas hierarhijas standartiem un standartizācijas organizācijas hierarhija ir sekojoša:



Tālāk ir dots daļējs normatīvo dokumentu uzskaitījums:

- LVS IEC 50-604:1987 (Elektroenerģijas ražošana, pārvade un sadale. Elektroietaišu ekspluatācija);
- LVS EN 50110-1:2005 (Elektroietaišu ekspluatācija. Energopārvades un sadales tīkli. Vispārīgi);
- Ministru kabineta noteikumi Nr. 415 (1998. gada 20. oktobris) redakcija uz 11.06.2005. vai jaunāka. (Ekspluatācijas aizsargjoslu gar elektriskajiem tīkliem noteikšanas metodika).
- Latvijas Energostandarts LEK 002 (Elektrostaciju, tīklu un lietotāju elektroietaišu tehniskā ekspluatācija).
- Latvijas Energostandarts LEK 025 trešais izdevums vai jaunāks (Drošības prasības, veicot darbus elektroietaisēs).
- Kādi standarti jāievēro projektējot un izbūvējot zibensaizsardzību reglamentā Latvijas būvnormatīvs LBN 201-07.
- LVS EN 62305 (zibensaizsardzības vispārīgie principi, ierīkošana).
- LVS EN 50164 (prasības zibensaizsardzības komponentiem).

Plašāks normatīvo dokumentu saraksts ir dots 1. pielikumā.

## 2.2. EKSPLOATĀCIJAS DARBU PAMATPRINCIPI

Ekspluatācijas darbi sevī ietver veselu kompleksu pasākumu, tie ir:

- Izvēle;
- Transportēšana uz uzstādīšanas vietu;
- Sagatavošana;
- Uzstādīšana;
- Uzturēšanas remontu un kārtējie remontu (tehniskā apkalpošana);
- Rekonstrukcijas un modernizācijas darbi;
- Iekārtas atjaunošanas darbi (kapitālais remonts);
- Uzglabāšana;
- Likvidācija, utilizācija.

Uzņēmumiem, kas veic elektroietaišu apkalpošanu, ir jānodrošina standartos minētās prasības. Uzņēmuma vadītājam, ekspluatācijas funkciju veikšanai, ar pavēli ir jānozīmē tehniskais vadītājs un persona, kura aizvieto tehnisko vadītāju tā ilgstošas prombūtnes laikā. Ja uzņēmumam ir atbilstošas elektroietaisies (vienlaicīgi atļautā slodze virs 30 kW vai iekārtas ar spriegumu virs 1000 V), bet nav apkalpojošā personāla, tās vadītājs var noslēgt līgumu un uzticēt ekspluatācijas darbus specializētam uzņēmumam. Par elektroietaisies tehnisko vadītāju var nozīmēt cilvēku, kurš izturējis zināšanu pārbaudi par noteikumiem un drošības prasībām, veicot darbus elektroietaisēs. Tehniskajam vadītājam ir jābūt apliecībai, kurā ir fiksēts zināšanu pārbaudes novērtējums un C elektrodrošības (LEK 025, LEK 002) grupas piešķiršana. Tehniskais vadītājs atbild par elektroietaišu darba ekonomiskumu, darba drošību, tehnisko stāvokli, tehniski ekonomisko rādītāju un energoapgādes uzņēmuma noteiktā darba režīma ievērošanu. Katrā elektroapgādes uzņēmumā ir jābūt izstrādātiem normatīvajiem raksturojumiem, kas nosaka tehnoloģiskās iekārtas kvantitatīvo un kvalitatīvo rādītāju atkarību no slodzes un darba režīmiem. Šiem normatīvajiem dokumentiem jābūt ekspluatācijas personāla rīcībā un tie jāpārskata ne retāk kā reizi 3 gados. Tāpat katrā uzņēmumā jābūt izstrādātam elektroietaišu pilnveidošanas un rekonstrukcijas ilgtermiņa plānam, kā arī ir jābūt sastādītiem gada un mēneša remonta darbu grafikiem. Savukārt ekspluatācijas personālam jābūt praktiski apmācītam patstāvīgi uzturēt iekārtas ekonomiskos darba režīmus. To, kas attiecas uz metroloģijas jomu un mērīšanas līdzekļu atbilstību, nosaka likums "Par mērījumu vienotību" un likums "Par atbilstības novērtēšanu".

*Atjaunošanas (kapitālais remonts), rekonstrukcijas un modernizācijas darbi (LEK 002)* – tie ir celtniecības un remonta darbi, kuri būtiski palielina ēku, būvju un iekārtu ražošanas potenciālu vai kalpošanas laiku un uzlabo to tehniski ekonomiskos rādītājus. Atjaunošanas darbu laikā tiek nomainītas nolietotās konstrukcijas, iekārtas vai atsevišķi mezgli, novērsti defekti, veikti mērījumi un ieregulēšana.

*Uzturēšanas remontu* nodrošina iekārtu, ēku un būvju uzturēšanu darba kārtībā un saglabāšanu laikā starp atjaunošanas remontiem. Šo darbu laikā tiek remontētas vai nomainītas atsevišķas konstrukcijas, mezgli, detaļas, novērsti defekti, veikti mērījumi un ieregulēšana, nodrošināta sistematiska un savlaicīga aizsardzība pret atmosfēras un korozijas iedarbību.

*Kārtējā* remonta laikā ietaisi apskata, tīra, noblīvē, nomaina smērvielas, pārbauda tās darbību, novērš radušos defektus, ja nepieciešams, pieeregulē, lai to uzturētu aktīvā darba stāvoklī starpremontu periodā.

Visu veida pārbaužu un remonta darbu periodiskums un minimālais apjoms noteikts iekārtu un būvju ekspluatācijas instrukcijās (uzņēmumu standarti, nolikumi, instrukcijas).

### 2.3. DROŠUMS

*Drošums* – apkopojošs termins, ko lieto, lai aprakstītu *darbgatavību* un to ietekmējošus faktorus: bezatteicību, apkalpojāmību, apkalpes nodrošinātību (Piezīme: drošumu lieto tikai vispārīgai nekvantitatīvu terminu aprakstīšanai). Patērētāju elektroapgādes drošums ir atkarīgs no atsevišķu energosistēmas elementu drošuma. Drošuma līmeni nosaka elektroapgādes pārtraukumu skaits un to ilgums, kas var rasties kādu sistēmas elementu avārijas bojājuma dēļ, vai arī plānotā remonta laikā. Pārtraukumu skaits ir atkarīgs no iekārtu darbaspējas uzturēšanas pasākumiem, kā arī no iekārtu kvalitātes un parametriem. Savukārt bojājumu likvidācijas laiks ir atkarīgs no dežūrējošo un remonta brigāžu darbu organizācijas. Jo augstāks spriegums, jo iekārtām ir augstākas drošuma prasības, un pie aprēķiniem ir jāņem vērā konkrētā tīkla shēma un ekspluatācijas pamatprincipi. Lai aprēķinātu *drošuma līmeni*, ir jāzina *vidējais pārtraukumu skaits* kādā laika periodā –  $\lambda$  un *pārtraukumu ilgums* –  $T$ . Tā kā šo lielumu atrašana balstās uz ekspluatācijas pieredzi, tad jaunāka tipa iekārtām to aprēķināšanai var būt nepietiekoši ilgs ekspluatācijas laiks.

$$\lambda = \frac{m}{n \cdot t}$$

kur  $\lambda$  – pārtraukumu skaits,  $t$  – ekspluatācijas periods gados,  $n$  – aplūkoto elementu skaits,  $m$  –  $n$  elementu atteicu skaits  $t$  gados.

Zinot pārtraukumu skaitu un bojājumu novēršanas remonta laiku  $T_{rem}$ , var aprēķināt *darbnespējas stāvokļa* ilgumu –  $T_{dn}$

$$T_{dn} = \lambda \cdot T_{rem}$$

Kā arī *darbnespējas stāvokļa varbūtību* –  $\chi$

$$\chi = \frac{T_{rem} \cdot \lambda}{8760}$$

Iepriekšminētās formulas derīgas, aprēķinot atsevišķu iekārtu drošumu. Apskatot sistēmu kopumā, ir jāskatās pēc nepiegādātās elektroenerģijas daudzuma –  $E$

$$E = P \cdot t_{a.var} \cdot \lambda$$

kur  $P$  – vidējā jauda par periodu;  $t_{a.var}$  – bojājuma novēršanas laiks.

Ja jāaprēķina darbnespējas stāvokļa varbūtība vairākiem elementiem, kas saslēgti viens aiz otra (virknes slēgums), tad:

$$\chi_v = \chi_1 + \chi_2 + \dots + \chi_n$$

kur:  $\chi_1$  – piespiedu darbnespējas stāvokļa varbūtība pirmajam tīkla elementam;  $\chi_2$  – piespiedu darbnespējas stāvokļa varbūtība otrajam tīkla elementam;  $\chi_n$  – piespiedu darbnespējas stāvokļa varbūtība  $n$ -tajam tīkla elementam.

Ja jāaprēķina darbnespējas stāvokļa varbūtība vairākiem elementiem, kas saslēgti paralēli (paralēlais slēgums), tad:

$$\chi_v = \chi_1 \cdot \chi_2 \cdot \dots \cdot \chi_n$$

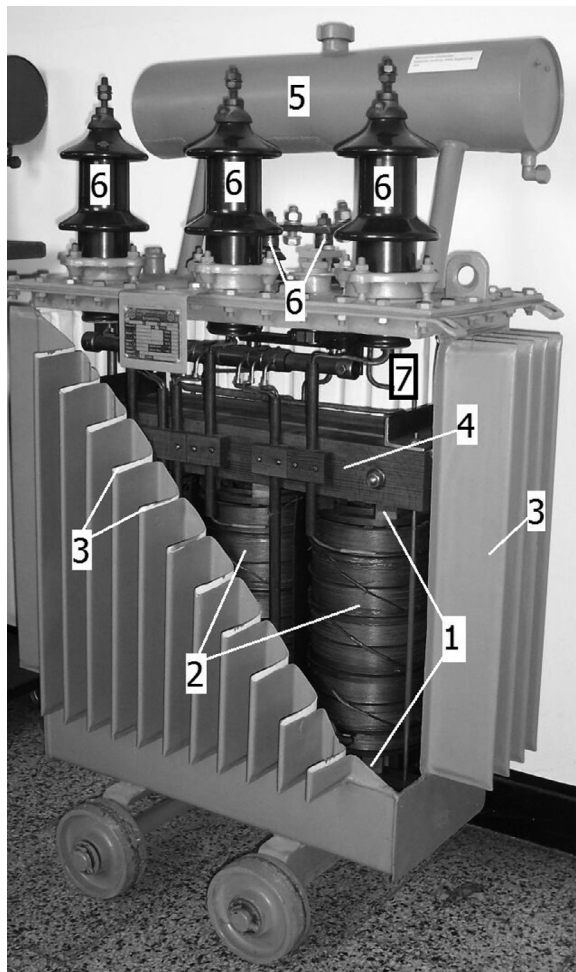
### 3. SPĒKA TRANSFORMATORI

#### 3.1. VISPĀRĪGĀS ZIŅAS PAR TRANSFORMATORIEM

Iepriekšējā nodaļā noskaidrojām, ka elektriskajā sistēmā spriegums tiek vairākkārtīgi transformēts. Elektrostacijās, kur ģeneratori ražo spriegumu robežās no 6 kV līdz 30 kV, transformatori spriegumu paaugstina līdz pārvades līnijas spriegumam 110, 150, 220, 330 kV un lielākam. Tātad tie ir spriegumu paaugstinošie transformatori. Savukārt sadales tīklu barošanas centros un pie elektroenerģijas patērētāja, kur jāpāriet uz 0.23, 0.4, 6, 10, 20, 35 kV, jāuzstāda spriegumu pazeminošie transformatori. No šejienes arī veidojas definīcija spēka transformatoram.

**Par spēka transformatoru sauc transformatoru,**  
**kas nodrošina sprieguma transformēšanu elektriskajās sistēmās.**

Pēc uzbūves transformatori var atšķirties, bet elektromagnētiskie procesi tiem ir vienādi. Konstruktīvā shēma sevi ietver magnētisko sistēmu, elektrisko sistēmu un dzesēšanas sistēmu, kā redzam 3.1. att..



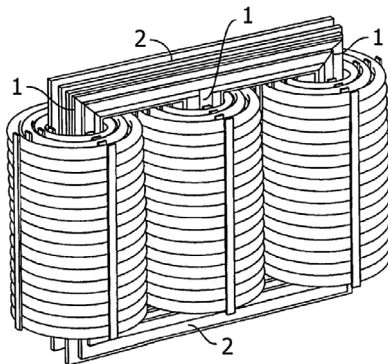
3.1. att. Vienfāzes spēka transformators.

1. magnētvars;
2. augstākā un zemākā sprieguma tinumi;
3. caurules eļļas cirkulācijai;
4. jūga sija;
5. tvertne;
6. augstākā un zemākā sprieguma izvadi;
7. eļļa.

**Magnētiskā sistēma.** Tā sastāv no elektrotehniskā tērauda loksņiem ar paaugstinātu (līdz 5%) silīcija saturu, kuras ir savienotas un veido karkasu, uz kura tiek uzvītas spoles. Šo karkasu sauc par *magnētvalu*. Magnētvals veido mehānisko pamatu un tā uzdevums ir lokalizēt magnētisko plūsmu. Silīcijs tiek pievienots ar mērķi palielināt magnētisko caurlaidību un elektrisko pretestību, kas savukārt samazina virpuļstrāvas un histerēzes (pārmagnetizēšanās process) radītos zudumus. Vēl silīcija piejaukums kavē tērauda novecošanos, samazina trokšņa līmeni un samazina formas un izmēra izmaiņas magnetizēšanās procesā. Kā negatīvu silīcija īpašību var minēt, ka tērauds kļūst trauslāks un grūti



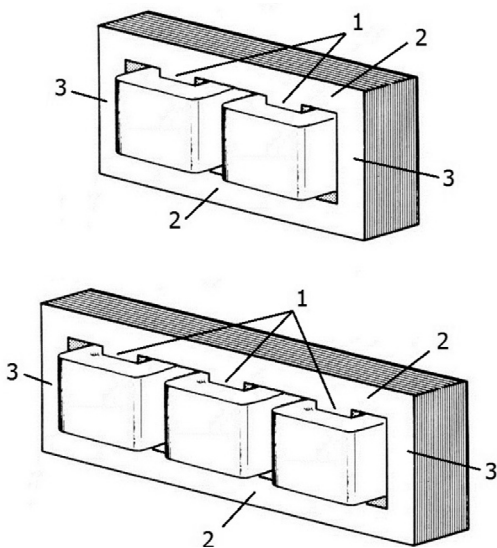
apstrādājams. Agrāk izmantoja karstās velmēšanas tehnoloģiju un elektrotehniskā tērauda loksnes izgatavoja 0,5 mm un 0,35 mm biezas ar darba indukciju 1,4 – 1,45 T. Šodien pielieto aukstās velmēšanas tehnoloģiju, kas dod iespēju izgatavot 0,35 mm, 0,30 mm un 0,27 mm biezas loksnes ar darba indukciju 1,6 – 1,65 T. Tas savukārt ļauj samazināt kopējos transformatora izmērus un tukšgaitas zudumus no 0,3% līdz 0,1 %. Loksnes no abām pusēm tiek pārklātas ar siltumizturīgu izolācijas kārtu (0,005mm). Magnētvasdi var būt stieņa tipa vai apvalka tipa.



3.2. att. Stieņa tipa magnētvasds vienfāzes un trīs fāžu transformatoram.

1 – stieņi; 2 – jūgi.

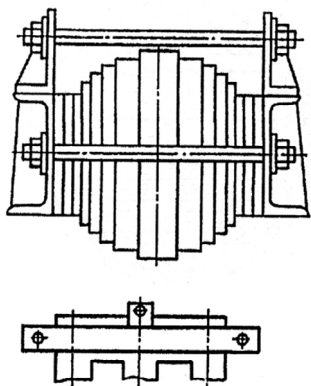
Spēka transformatoros pamatā izmanto stieņa tipa magnētvasdus (3.2. att.). Elektrotehniskās plāksnes, kuras veido vertikālos stieņus, uz kuriem uztiti tinumi, sauc par stieņiem. Savienojošās plāksnes sauc par jūgiem. Ja spēka transformatora jauda pārsniedz 100 MVA, tad izmanto apvalka tipa magnētvasdus (3.3. att.).



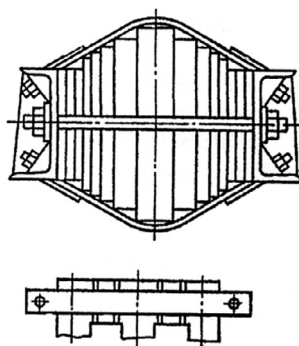
3.3. att. Apvalka tipa magnētvasds vienfāzes un trīs fāžu transformatoram.

1 – stienis; 2 – augšējie un apakšējie jūgi; 3 – sānu jūgi.

Atšķirība ir tāda, ka jūgu daļas aptver tinumus arī no sāniem, un sānu jūgos veidojas magnētiskā plūsma. Vienfāzes gadījumā tā ir divas reizes mazāka, nekā stieņos, bet trīs fāžu gadījumā tā ir  $\sqrt{3}$  reizes mazāka. Ieguvums ir tāds, ka ir iespēja samazināt augšējā un apakšējā jūga augstumu. Tā rezultātā samazinās arī transformatora augstums. Tam ir svarīga nozīme pie noteikumu un prasību izpildes, transportējot pa dzelzceļu. Tā kā spēka transformatoriem tinumi parasti ir cilindra formas, tad arī stieņus veido ar pakāpēm, lai forma tuvotos cilindram. Atšķirībā no konstrukcijas pakāpju skaits var atšķirties, tas var būt robežās no 5 – 16. Lai magnētvasdu sapresētu, mazākas jaudas transformatoros lieto bultskrūves (3.4. att.), bet lielākas jaudas transformatoros izmanto tērauda pusbandāžas (3.5. att.).



3.4. att. Jūga presēšana ar bultskrūvi .



3.5. att. Jūga presēšana ar tērauda pusbandāžu.

**Magnēt vadu kopā ar visiem mezgliem, kas veido vienotu konstrukciju, sauc par transformatora karkasu.**

Karkasa kopskats redzams 3.6. att.. Transformatoram darbojoties, rodas elektromagnētiskais lauks un karkasa metāliskās daļas uzlādējas, bet, tā kā potenciāls nav vienāds, var rasties potenciāla starpība. Lai to novērstu, visas transformatora metāliskās daļas jāsazemē.

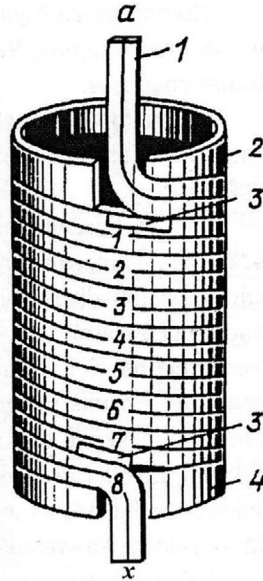


3.6. att. 10/5000 kVA trīsfāžu transformatora karkass.

**Elektriskā sistēma** – sastāv no tinumiem, kuri uztīti uz magnēt vada stieņa un izolēti no tā. Tā kā caur tinumiem ilgstoši plūst darba strāva un tie ir pakļauti gan pārstrāvām, gan pārspriegumiem, tad tā ir transformatora daļa, kas pakļauta vissmagākajiem darba apstākļiem. Tinumi ir tie, kas sastāda vislielākās transformatora izmaksas un to kalpošanas ilgums pamatā nosaka arī transformatora kalpošanas ilgumu. Šo iemeslu dēļ tinumiem tiek izvirzītas paaugstinātas prasības gan pie izbūves, gan pie ekspluatācijas.

**Tinuma vadu, kurš vienreiz aptver magnēt vada stieni un kurā magnētiskais lauks inducē EDS, sauc par vijumu.**

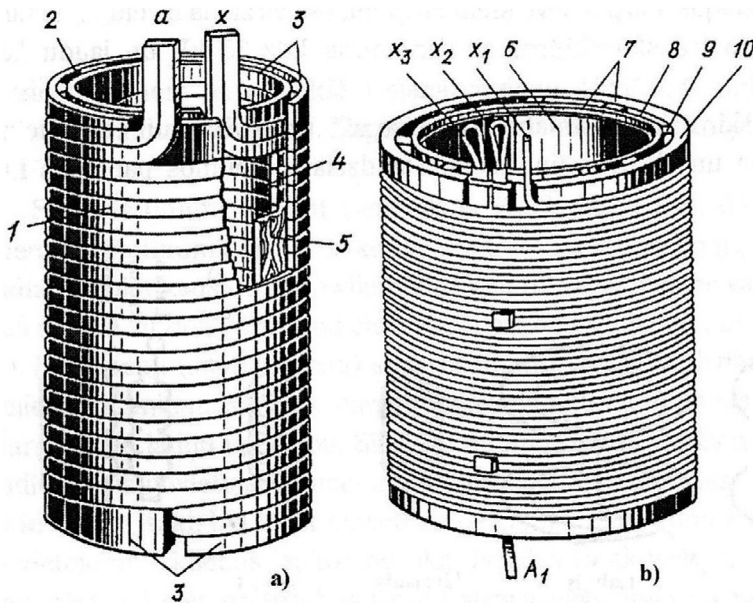
Vijumi var būt gan vienā slānī, gan vairākos. Visu vijumu kopums veido transformatoru tinumu. Tinumu konstrukcijai var būt dažāds izpildījums, tas ir atkarīgs no sprieguma un transformatora jaudas. Visvienkāršākais ir *cilindriskais tinums* (3.7. att.). Šeit augstsprieguma un zemsprieguma tinumi novietoti blakus viens otram.



3.7. att. Vienkāršais cilindriskais tinums:

1 – vijums; 2,4 – izlīdzinošie gredzeni; 3 – izolācijas starpliņa.

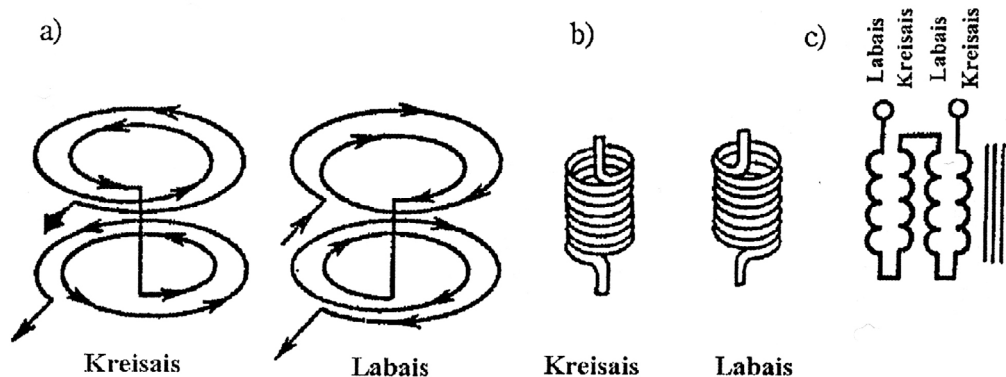
Biežāk izmanto koncentriskos tinumus, kad zemākā sprieguma tinumu uz magnētvasda stieņa uztin pirmo un tam virsū uztin augstākā sprieguma tinumu. 3.8. att. a parādīts koncentrisks divslāņu tinums. Starp tinumiem ir atstāts kanāls, pa kuru, dzesējot tinumus, cirkulē eļļa. Ja ir vairāki slāņi, katrs nākamais, nepārtraucot ķēdi, tiek tīts virsū iepriekšējam, tikai pretējā virzienā. Lai nodrošinātu sprieguma regulēšanu, tiek izveidoti regulējošie atzari X1, X2, X3 – 3.8. att. b.



3.8. att. Daudzslāņu cilindriskais tinums:

1,4 – vijumi; 2,5 – listes; 3 – izlīdzinošais gredzens; 6 – bakelīta papīra cilindrs; 7 – starpslāņu izolācija; 8 – kanāls; 9 – līste; 10 – izolējošais gredzens; X1, X2, X3 – regulējošie atzari.

Vēl var būt *jauktais* tinuma veids, kad augstākā un zemākā sprieguma tinumi tiek tīti pamišus. To parasti izmanto speciālajos transformatoros, piemēram, elektrokrāšņu barošanai. Vījums var būt gan *spoles veidā*, gan *skrūves veidā*. Skrūves tinumā var būt viens vai vairāki paralēli vadi, to savukārt sauc par viengājiena, divgājiena, utt. tinumu. Tinuma uztīšanas virziens nosaka inducētā EDS virzienu. Tinumu uztīšanas virzieni parādīti 3.9. att..



3.9. att. Tinumu uztīšanas virzieni:

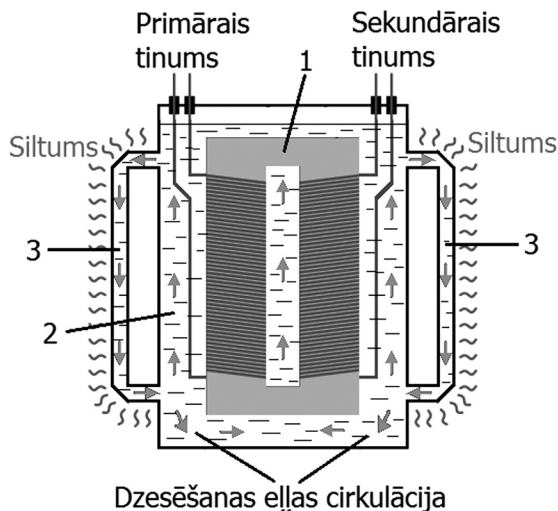
a) spoļu tinumam; b) vienslāņa cilindriskajam tinumam; c) daudzslāņu cilindriskajam tinumam.

Lielākiem spriegumiem lieto savītos nepārtrauktos tinumus, jo savijot blakus esošos vadus, izlīdzinās kapacitatīvā sprieguma sadalījums. To sauc par *transpozīcijas* principu. Transformatoru tinumus izgatavo no elektrotehniskā vara vai alumīnija. Tinumiem izmanto mīksti apdedzinātu varu, bet kopnēm un strāvu vadošiem stieņiem – cieto varu. Alumīnijam ir sliktākas elektrotehniskās īpašības, toties mazākas izmaksas un svars, tādēļ arī to plaši pielieto transformatoros. Mūsdienās, izgatavojot transformatoru tinumus ar lielu vadu skaitu vījumā, izmanto vara transponētos vadus. Tie sastāv no liela emaljēto elementāro vadu skaita, kuri novietoti divās rindās. Šie vadi nepārtraukti visā garumā pāriet no vienas rindas otrā. Tāpēc šādiem vadiem nav jāveic transpozīcija, kas ir darbietilpīga operācija. Ļoti liela nozīme transformatoros ir izolācijas materiāliem. To uzdevums ir izolēt strāvu vadošās daļas ar dažādiem potenciāliem gan savstarpēji, gan no zemētām konstrukcijām. Izolācijai jāspēj kalpot pie temperatūras paaugstināšanās gan īsslēguma gadījumā, gan pie pārslodzes un pārsprieguma momentos. Turklāt tai ir droši jākalpo visu izgatavotāj rūpnīcas garantēto transformatora darbību. Parasti tas ir 25 gadi. Kā izolācijas materiālus izmanto: elektroizolācijas papīru (kabeļpapīrs, transformatorpapīrs, augstsprieguma kabeļpapīrs), elektrokartonu, emalju, lakaumus, ar laku piesūcinātu stiklaudumu, elektrotehnisko getinaksu, papīra bakelīta izolāciju. Eļļas transformatoros izmantotā izolācija pamatā atbilst A klasei ar pieļaujamo ilgstošo darba temperatūru 105°C. Spēka transformatoros kopā ar cieto izolāciju izmanto arī šķidros dielektriskus, piemēram, eļļu, kas vienlaicīgi izpilda arī dzesēšanas funkcijas.

## DZESĒŠANAS SISTĒMA

Transformatoram darbojoties, rodas elektriskās enerģijas zudumi, tie pārvēršas siltumā. Nominālajā darba režīmā šie zudumi sastāda 75% no kopējiem transformatora zudumiem. Galvenie siltumenerģijas avoti ir tinumi un magnētqvads. Lai transformatoru daļas nepārsniegtu pieļaujamo darba temperatūru, izmanto dažādas dzesēšanas sistēmas. Sausajos transformatoros izmanto dabisko gaisa dzesēšanu. Hermētiskajos sausajos transformatoros, tinumu un magnētqvada dzesēšanai izmanto gāzes (piemēram, elegāze) un gaisa cirkulāciju. Tādus transformatorus izgatavo līdz 20 kV, turklāt uzstāda vietās, kur gaisa mitrums nav augstāks par 80%. Plašāk tiek izmantoti tā saucamie eļļas transformatori.

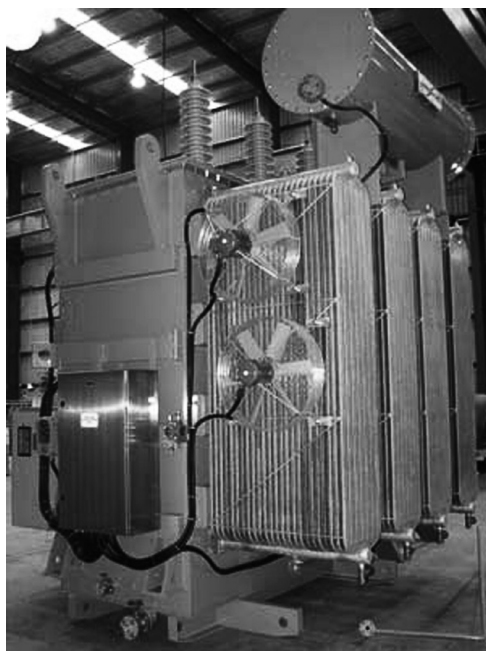
Pirmā ir jāmin *sistēma ar dabisko eļļas dzesēšanu* 3.10. att. Transformatora tvertnei, kurā atrodas aktīvā daļa, tiek piepildīta ar transformatoru eļļu. Tinumiem un magnētqvadiem uzsilstot, eļļa arī sasilst, un tās blīvums samazinās. Rezultātā eļļa ceļas uz augšu un radiatoros vai caurulēs atdziest. Notiek eļļas cirkulācija un liekā siltuma novadīšana apkārtējā vidē. Jo lielāka ir jauda, jo lielāka ir dzesēšanas virsma. Caurules var būt izvietotas vairākās rindās, bet vairāk kā četrās nav izdevīgi, jo pasliktinās siltuma apmaiņa. Lai palielinātu dzesēšanas efektivitāti, lielākas jaudas transformatoriem lieto ventilatorus.



3.10. att. Dabiskā eļļas dzesēšanas sistēma.

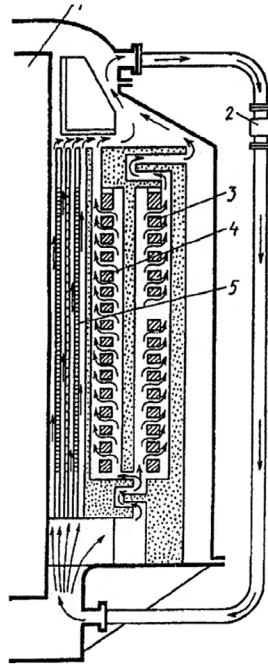
1 – magnētvars ar tinumu; 2 – tvertne; 3 – dzesēšanas caurules.

10 – 80 MVA transformatoriem parasti lieto sistēmu ar *piespiedu gaisa un dabisko eļļas cirkulāciju* 3.11. att. Ventilatori tiek uzstādīti ārpusē, un gaisa plūsma tiek virzīta uz dzesēšanas radiatoriem. Tādā veidā dzesēšanas efektivitāte palielinās divas reizes. Transformatori ar atslēgtiem ventilatoriem var ilgstoši darboties līdz 50% no nominālās slodzes.



3.11. att. Piespiedu gaisa un dabiskā eļļas cirkulācijas sistēma.

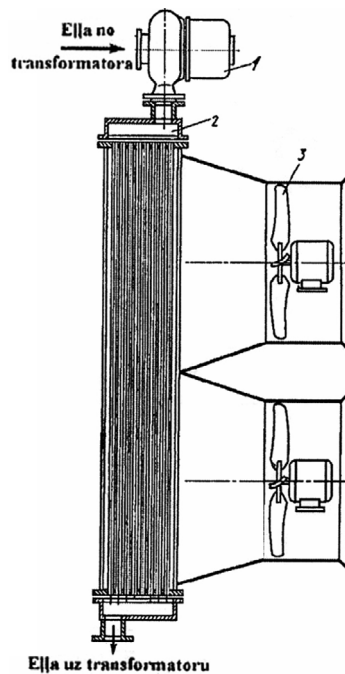
Var būt sistēma ar *piespiedu eļļas un dabīgo gaisa cirkulāciju* (3.12. att.). Šajā gadījumā sūknis tiek iebūvēts katra radiatora cauruļvadā, kas nodrošina palielinātu eļļas cirkulāciju gar tinumiem un magnētvalu. Šīs sistēmas ieguvums ir iespēja samazināt transformatora gabarītus. Ar atslēgtiem ventilatoriem transformators var ilgstoši darboties pie 30 – 40% no nominālās slodzes.



3.12. att. Piespiedu eļļas un dabīgā gaisa cirkulācijas sistēma:

1 – magnētqvads; 2 – elektrosūkņis; 3 – augstākā sprieguma tinumi; 4 – vidējā sprieguma tinumi;  
5 – zemākā sprieguma tinumi.

Trešais variants ir sistēma ar piespiedu gaisa un piespiedu eļļas cirkulāciju (3.13. att.), to pielieto transformatoriem ar 80 – 400 MVA jaudu. Lai eļļu atdzesētu, tā ar sūkni tiek virzīta caur speciāliem, atsevišķi novietotiem mazgabarīta dzesētājiem, uz kuriem savukārt tiek virzīta gaisa plūsma no ventilatoriem.



3.13. att. Piespiedu gaisa un piespiedu eļļas cirkulācijas sistēma:

1 – elektrosūkņis; 2 – dzesētājs; 3 – ventilatori.

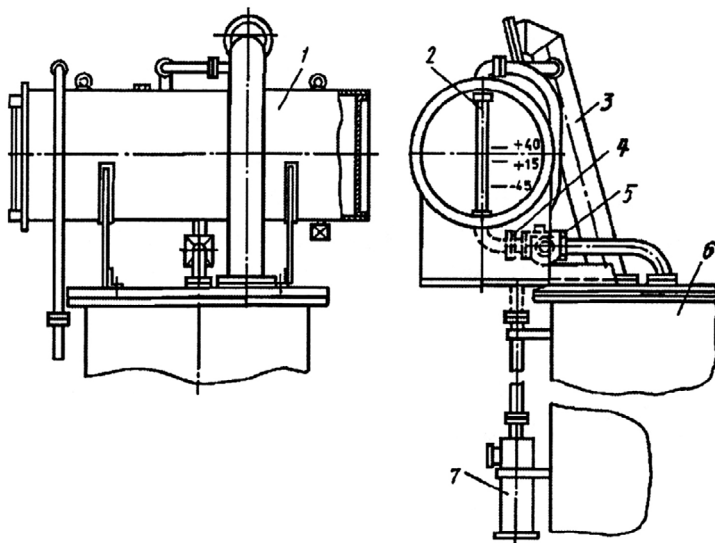


Vēl jāpiemin *ūdens un eļļas piespiedu dzesēšanas sistēma*. Šajā sistēmā eļļa caurulēs plūst caur ūdens dzesētāju, kurā notiek piespiedu ūdens cirkulācija. Siltumenerģijas pāreja uz ūdeni ir daudz augstāka, nekā pāreja uz gaisu. Tas dod iespēju veidot kompaktākas dzesēšanas sistēmas. Trūkums ir tas, ka šādā sistēmā transformatori nevar strādāt ar atslēgtiem sūkņiem.

### 3.2. EĻĻAS TRANSFORMATORU DZESĒŠANAS PALĪGIERĪCES

Pie palīgierīcēm pieder paplašinātājs, eļļas līmeņa rādītājs, termometrs vai temperatūras signalizators, gaisa žāvētājs, termosifona filtrs, gāzes relejs, izplūdes caurule un tvertnes armatūra. Kopumā tās kalpo aizsardzībai, ekspluatācijai un drošumam. Apskatīsim, kāds uzdevums ir katrai no šīm palīgierīcēm.

**Paplašinātājs** – cilindriskas formas tilpums, kas novietots virs transformatora un savienots ar pamattvertni. Tā funkcijas ir kā izplešanās traukam. Eļļai sasilstot, tā izplešas, un paplašinātājs kompensē šīs tilpuma izmaiņas (3.14. att.). Tos izbūvē transformatoriem, sākot ar 5 kV un 25 kVA. Tilpums sastāda aptuveni 10% no kopīgā tvertnes tilpuma. Papildus paplašinātājs pasargā eļļu no tiešas saskares ar apkārtējo gaisu. Sakarā ar to, ka eļļas kustība paplašinātājā ir neliela un temperatūra ir zemāka nekā tvertnē, tad oksidēšanās produkti un mitrums, kas var tajā nokļūt no gaisa, praktiski nosēžas paplašinātājā un tvertnē nenonāk.



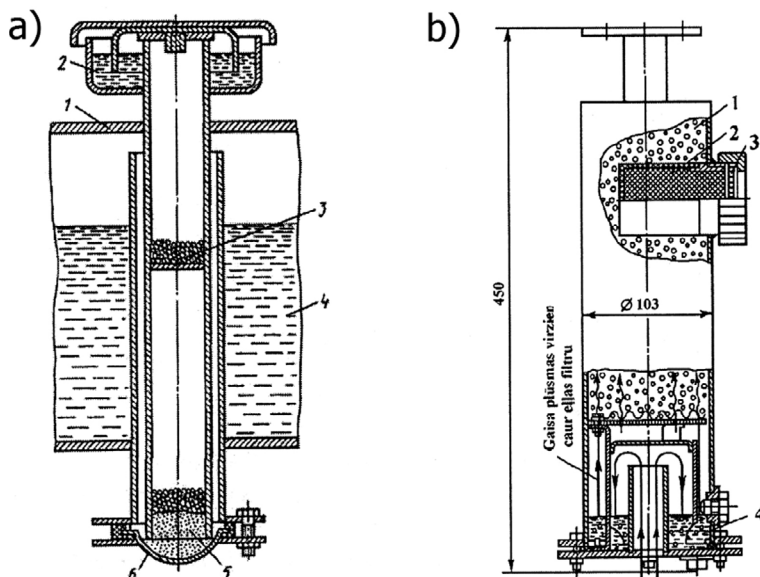
3.14. att. Transformatora dzesēšanas sistēmas palīgierīces:

1 – paplašinātājs; 2 – eļļas līmeņa rādītājs; 3 – izplūdes caurule; 4 – krāns; 5 – gāzes relejs; 6 – tvertne; 7 – gaisa žāvētājs.

**Termometrs** ir novietots paplašinātāja galā, ZS pusē. Tas rāda eļļas temperatūru. Uz skalas ir trīs atzīmes, kas atbilst atslēgta transformatora eļļas līmenim pie  $-45^{\circ}\text{C}$ , pie  $+15^{\circ}\text{C}$  un pie  $+40^{\circ}\text{C}$  (3.14. att.).

Par **temperatūras signalizatoru** kalpo termometriskie signalizatori. Tos uzstāda transformatoriem ar jaudu 1000 kVA un vairāk. Tie automātiski dod signālu aizsardzības ķēdēm. Transformatoros, kuros ir piespiedu cirkulācija, uzstāda divus temperatūras signalizatorus. Viens kontrolē eļļas temperatūru, bet otrs nodrošina automātisku ventilatoru un/vai sūkņu vadību.

**Gaisa žāvētājs** nodrošina gaisa attīrīšanu no mitruma un piesārņojumiem, kas var nonākt eļļā, svārstoties tās līmenim. Tas ir izveidots kā metāla cilindrs ar eļļas aizvaru un piepildīts ar silikogelu. Kad eļļas līmenis transformatorā samazinās, caur gaisa žāvētāju tiek iesūcts gaiss. Vispirms tas tiek attīrīts no piemaisījumiem, izejot cauri eļļas aizvaram un tālāk, ejot cauri silikogelam, tiek samazināts mitruma saturs. Transformatoriem ar jaudu līdz 630 kVA gaisa žāvētājs tiek iebūvēts tieši paplašinātājā (3.16. att. a, bet transformatoriem ar jaudu 1000 kVA un vairāk to uzstāda virs paplašinātāja 3.16. att. b).



3.16. att.

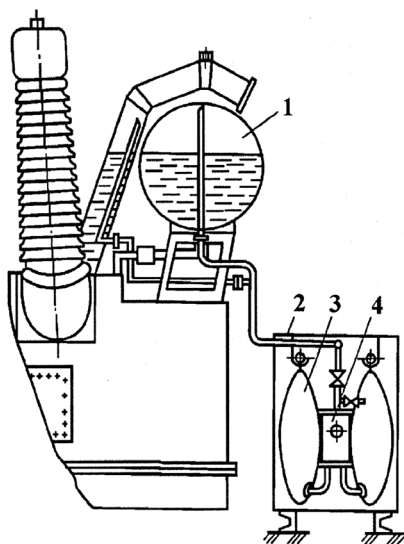
a) gaisa žāvētājs iebūvēts paplašinātājā:

1 – paplašinātājs; 2 – eļļas aizvars; 3 – silikogels; 4 – eļļa; 5 – indikācijas silikogels; 6 – vāciņš.

b) Gaisa žāvētājs transformatoriem ar jaudu 1000 kVA un lielāku:

1 – silikogels; 2 – patrona ar indikācijas silikogelu; 3 – novērošanas lūka; 4 – eļļas aizvars.

Transformatoriem ar spriegumu 220 kV un vairāk drošības nolūkos telpu virs eļļas paplašinātāja aizpilda ar slāpekli, to sauc par slāpekļa aizsardzību (3.17. att.),

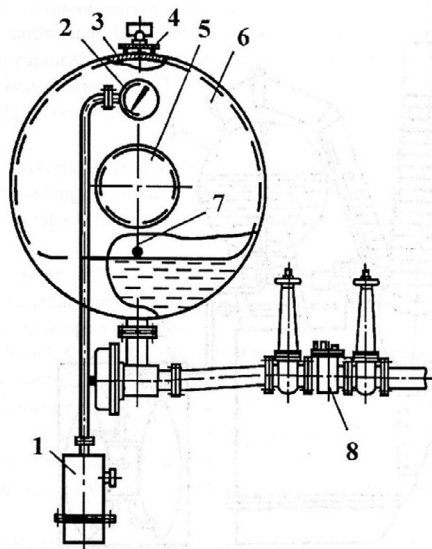


3.17. att. Slāpekļa aizsardzības ierīce:

1 – paplašinātājs; 2 – skapis; 3 – elastīgs rezervuārs; 4 – slāpekļa žāvētājs.

bet pašu paplašinātāju pilnībā hermetizē, vai aizsargā ar plēves aizsardzību (3.18. att.). Plēves aizsardzība izveidota tā, ka paplašinātājā ir ievietota elastīga tilpne, un, mainoties tilpumam, tā visu laiku cieši pieguļ paplašinātāja virsmai. Vienlaicīgi caur gaisa žāvētāju tā ir savienota ar apkārtējo gaisu. Tādējādi plēves aizsardzība efektīvi veic mitruma un gāzes izvadīšanu no eļļas, papildus nodrošinot hermētiskumu.



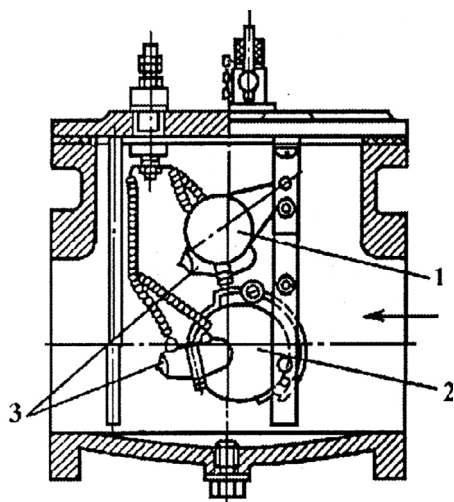


3.18. att. Plēves aizsardzība:

1 – gaisa žāvētājs; 2 – eļļas līmeņa rādītājs; 3 – elastīga tilpne; 4 – īscaurule; 5 – montāžas lūka; 6 – paplašinātājs; 7 – pludiņš; 8 – gāzes relejs.

**Termosifona filtrs** paredzēts nepārtrauktai eļļas reģenerācijai. Tas nozīmē, ka filtrs ir piepildīts ar silikogelu, kurš uzsūc mitrumu un izolācijas novecošanās procesā izdalītos piemaisījumus. Šādus filtrus uzstāda transformatoriem ar jaudu 1000 kVA un lielāku.

**Gāzes relejs** atrodas uz cauruļvada, kas savieno paplašinātāju ar tvertni. Tā uzdevums ir aizsargāt un kontrolēt transformatoru no iekšējiem bojājumiem. Bojājumi var rasties no starptinuma isslēguma, izolācijas caursišanas, īssavienojuma starp tērauda loksnēm magnētavadā. Tos uzstāda, sākot ar jaudu no 1000 kVA. Darbības princips balstās uz gāzu izdalīšanos. Relejā ir divi pludiņi ar pārslēdzēm un eļļu (3.19. att.). Pludiņi atrodas augšējā stāvoklī. Pie neliela gāzes daudzuma izdalīšanās, tā izspiež eļļu no releja, un pirmais pludiņš pārvietojas uz leju, saslēdzot signalizācijas ķēdi. Ja bojājums ir liels, tad pa cauruļvadu uz paplašinātāju plūst gāze kopā ar eļļu. Spiediena rezultātā pludiņš tiek virzīts uz augšu, un saslēdzas ķēde, kas atslēdz transformatoru. Gāzes releja nostrādes laiks nav lielāks par 0,1 s.



3.19. att. Gāzes relejs:

1 – signālkontakta pludiņš; 2 – transformatora atslēgšanas pludiņš; 3 – dzīvsudraba stikla pārslēdzis.

**Izplūdes caurule** darbojas kā drošības vārsts (3.14. att. 3). Ja transformatora iekšienē notiek išslēgums vai cits bojājums, kā rezultātā rodas elektriskais loks, tad strauji izdalās gāzes un tvertnē pieaug spiediens. Viens izplūdes caurules gals ir pievienots tvertnes vākam, bet otrā galā ir stikla membrāna. Spiedienam sasniedzot kritisko lielumu, stikls tiek saplēsts un gāze ar eļļu izplūst pa izplūdes cauruli. Šāds gadījums ir ārkārtas, jo pirms tam būtu bijis jānostrādā aizsardzībām, kas transformatoru atslēdz no sprieguma. Izplūdes caurules uzstāda transformatoriem sākot no 1000 kVA.

**Tvertnes armatūra** ir ventiļi, krāni, aizbīdņi, aizbāžņi. Tie nodrošina iespēju eļļas filtrācijai, paraugu ņemšanai, noliešanai, papildināšanai.

Tātad, atbilstoši uzdevumam, pēc konstruktīvās uzbūves transformatori atšķirsies, bet nominālos datus, kādam transformators ir izgatavots, izgatavotājrūpnīca vienmēr norādīs uz metāla plāksnītes, kas piestiprināta pie korpusa. To sauc par *transformatora pasi*. Tajā būs sniegta sekojoša informācija:

- Nominālā pilnā jauda  $S_n$ , kVA;
- Nominālais līnijas primārais spriegums  $U_{1n}$ , V vai kV;
- Nominālais līnijas sekundārais spriegums  $U_{2n}$ , V vai kV;
- Nominālā līnijas primārā strāva  $I_{1n}$  A;
- Nominālā līnijas sekundārā strāva  $I_{2n}$  A;
- Nominālā frekvence  $f$ , Hz;
- Fāžu skaits;
- Tinumu savienojumu shēma un grupa;
- Išslēguma spriegums  $u_k$ , %;
- Darba režīms un dzesēšanas veids;
- Transformatora pilnā masa, kg;
- Eļļas masa, kg;
- Aktīvās daļas masa, kg.

Elektriskajā sistēmā kopējā uzstādītā transformatoru jauda vairākkārt pārsniedz ģeneratoru summāro jaudu, un, līdz ar to, tie būtiski ietekmē sistēmas drošumu. Tāpat, spēka transformatoram strādājot tukšgaitas režīmā vai ar nepilnu noslodzi, rodas ievērojami zudumi. Tādēļ transformatoru ekspluatācijai ir sevišķi liela nozīme.

### 3.3. TRANSFORMATORU IEDALĪJUMS

Spēka transformatorus var iedalīt atbilstoši vairākām pazīmēm: veicamās funkcijas, fāžu skaits, tinumu skaits.

Transformatoru iedalījums pēc veicamās **funkcijas**:

- **Paaugstinošie** transformatori. Tos galvenokārt uzstāda elektrostacijās.
- **Pazeminošie** transformatori. Tos uzstāda sadales tīklu barošanas centros.
- **Reversīvie** transformatori. Šādus transformatorus uzstāda elektrostacijās ar lielu slodzi uz elektrostaciju ģeneratora sprieguma kopnēm. Daļu diennakts tie strādā kā paaugstinošie un daļu diennakts kā pazeminošie transformatori.

Transformatoru iedalījums pēc **fāžu** skaita:

- **Vienfāzes** transformatori;
- **Trīsfāžu** transformatori;
- **Daudzfāžu** transformatori. Šajā gadījumā transformatora tinumus veido visu fāžu tinumi, kas noteiktā veidā savienoti savā starpā.

Priekšroka tiek dota trīsfāžu transformatoriem, jo to izgatavošana un uzstādīšana ir lētāka, turklāt kopējais aktīvā materiāla patēriņš, tai skaitā arī serdes izgatavošanai, ir par 20 – 25% mazāks, kas stingri samazina zudumus magnētavadā, bet tai pašā laikā darba drošums ir apmēram trīs reizes lielāks. Vienfāzes transformatorus parasti lieto pie 750 kV un augstāka sprieguma. Tas ir saistīts ar lieliem gabarītiem un masu, kuras dēļ transformatorus nevar nogādāt uzstādīšanas vietā, jo jāreķinās ar prasībām, kas attiecas uz dzelzceļa pārvadājumiem.

Transformatoru iedalījums pēc **tinumu** skaita:

- **Divtinumu** transformatori. Tie ir visplašāk izplatītie un, aplūkojot transformatoru darbības principus un īpašības, par pamatu izmanto tieši divtinumu transformatorus;
- **Trīstinumu** un **daudztinumu** transformatori. Tos galvenokārt izgatavo kā spriegumu pazeminošos transformatorus. Tiem ir augstākā sprieguma tinums, vidējā sprieguma tinums un zemākā sprieguma tinums. Viens no variantiem ir transformatori ar vairākās daļās *šķeltu zemākā sprieguma tinumu*. Tas tiek izmantots, lai ierobežotu isslēgumu strāvas. Sīkāk apskatīsim, runājot par 110 kV trīsfāžu autotransformatoru.

Tālāk apskatīsim trīsfāžu transformatora tinumu **slēgumu shēmas**.

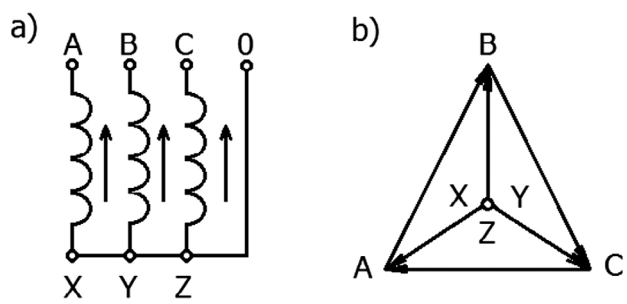
| Slēgumu veidi                            | Grafiskie apzīmējumi |
|------------------------------------------|----------------------|
| Zvaigznes slēgums                        |                      |
| Zvaigznes slēgums ar nulles punktu       |                      |
| Trīsstūra slēgums                        |                      |
| Zigzagzvaigznes slēgums                  |                      |
| Zigzagzvaigznes slēgums ar nulles punktu |                      |

Saslēdzot tinumus kādā no šīm shēmām, augstākā sprieguma tinuma sākuma gala spaiļes apzīmē ar A, B, C un beigu galu spaiļes attiecīgi ar X, Y, Z. Vidējā sprieguma sākuma gala spaiļes ar A<sub>m</sub>, B<sub>m</sub>, C<sub>m</sub> un beigu galus – X<sub>m</sub>, Y<sub>m</sub>, Z<sub>m</sub>. Zemākā sprieguma sākuma galu spaiļes apzīmē ar a, b, c un beigu galus – x, y, z. Ja tinumiem ir atzari sprieguma regulēšanai, tad to beigu un sākumu galus apzīmē ar cipariem 1, 2, 3, ...

**Zvaigznes slēgums ar nulles punktu** ir redzams 3.20. att.. Šajā slēgumā

$$U_f= U_l / \sqrt{3} \text{ , bet } I_f= I_l$$

$U_f$  – fāzes spriegums;  $U_l$  – līnijas spriegums;  $I_f$  – fāzes strāva;  $I_l$  – līnijas strāva.

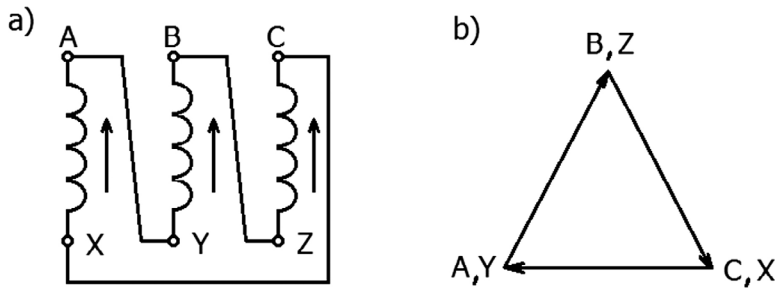


3.20. att. Zvaigznes slēgums ar nulles punktu:  
a) principiālā shēma; b) vektoru diagramma.

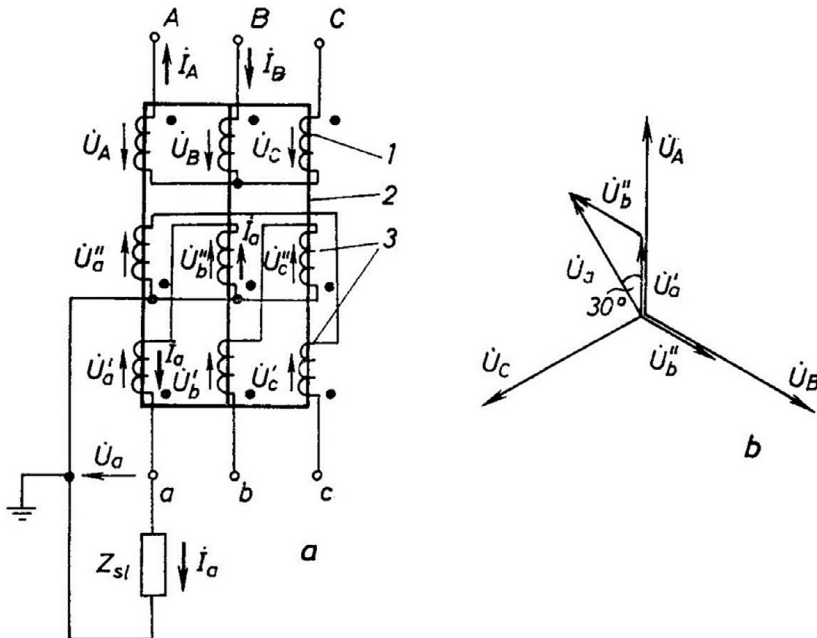
Trīsstūra slēguma shēma redzama 3.21. att. Šajā slēgumā

$$U_f = U_p \text{ bet } I_f = I_l / \sqrt{3}$$

No tā izriet, ka pie vienādiem nosacījumiem trīsstūra slēguma gadījumā vijumu skaits būs par  $\sqrt{3}$  reizes lielāks, nekā zvaigznes slēgumā, bet vadu šķēsgriezums būs attiecīgi  $\sqrt{3}$  reizes mazāks.



Zigzagzvaigznes slēguma shēma redzama 3.22. att. Šajā slēgumā spriegumi un strāvas sadalās tāpat kā zvaigznes slēgumā, bet vijumu skaits ir par 16% lielāks. Šādu tinumu priekšrocības ir pie nesimetriskiem transformatora darba režīmiem. Kā redzam attēlā, fāžu tinums ir sadalīts divās daļās un uztīts uz diviem dažādu fāžu stiepiem. Abas tinuma daļas savienotas virknes pretslēgumā. Rezultātā pievadītā nullsecības strāva uz viena stieņa uztītajiem divu fāžu tinumiem darbojas savstarpēji atmagnezējoši. To izmanto 0,4 kV tīklos, kad ir garas zemsprieguma līnijas, jo nevienādas fāžu noslodzes gadījumā neitrālei nerodas potenciāls pret zemi, kas samazina fāžu nesimetriju. Otra priekšrocība ir saistīta ar vienfāzes īsslēguma strāvas pieaugumu, kas nodrošina aizsardzības jūtības palielināšanos. Kā trūkumu var minēt sekundārā vijumu skaita pieaugumu  $2/\sqrt{3}$  reizes un sarežģītāku transformatora izgatavošanu.



3.22. att. Zigzagzvaigznes slēgums:

a) principiālā shēma; b) vektoru diagramma.

Šeit jāapskata arī tāds svarīgs lielums kā transformācijas koeficients. Par **transformatora koeficientu** K sauc AS tinumā inducētā EDS attiecību pret ZS tinuma EDS.

$$K = \frac{E_1}{E_2}$$

Transformatora tukšgaitā  $E_1 = U_1$  un  $E_2 = U_2$ . Eksploataācijas apstākļos ar transformācijas koeficientu saprot nominālo spriegumu attiecību. Vienfāzes transformatoriem, rēķinot gan pēc EDS, gan pēc spriegumu attiecībām, rezultāti neatšķirsies, bet trīsfāžu transformatoriem šīs attiecības var atšķirties. Turklāt transformācijas koeficients ir atkarīgs arī no slēgumu shēmas veida:

$$\swarrow \searrow \text{ un } \triangle / \triangle \text{ slēgums} \quad K_1 = \frac{U_{1l}}{U_{2l}} = \frac{W_1}{W_2}$$

$K_1$  – līnijas sprieguma transformācijas koeficients;  $U_{1l}$  – primārā tinuma līnijas spriegums;  $U_{2l}$  – sekundārā tinuma līnijas spriegums;  $W_1$  – primārā tinuma vijumu skaits;  $W_2$  – sekundārā tinuma vijumu skaits.

$$\triangle / \triangle \text{ slēgums} \quad K = \frac{U_{1l}}{U_{2l}} = \frac{\sqrt{3} W_1}{W_2}$$

$$\triangle / \swarrow \text{ slēgums} \quad K = \frac{U_{1l}}{U_{2l}} = \frac{W_1}{\sqrt{3} W_2}$$

Praksē parasti trīsfāžu spēka transformatoriem izmanto sekojošas slēgumu shēmas:

Zvaigznes slēgums / zvaigznes slēgums ar nulles punktu –  $\swarrow \searrow_0$ ;

Zvaigznes slēgums / trīsstūra slēgums –  $\swarrow \triangle$ ;

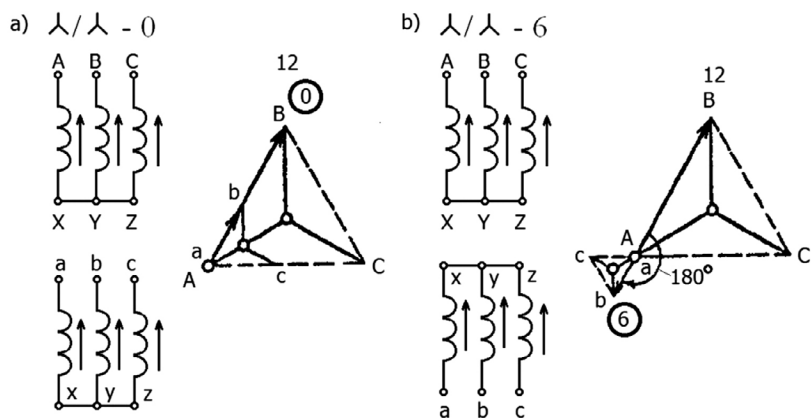
Zvaigznes slēgums ar nulles punktu / trīsstūra slēgums –  $\swarrow_0 \triangle$ ;

Zvaigznes slēgums / zigzagzvaigznes slēgums ar nulles punktu –  $\swarrow \searrow_0$ ;

Trīsstūra slēgums / zvaigznes slēgums ar nulles punktu –  $\triangle / \swarrow_0$ ;

Trīsstūra slēgums / trīsstūra slēgums –  $\triangle / \triangle$ .

Vēl transformatoru eksploatacijā svarīga nozīme ir **slēgumu grupām**. Slēgumu grupas nosaka leņķi starp vienāda nosaukuma līnijas vai fāzes spriegumiem transformatora primārajā un sekundārajā pusē. Grupas numuru atrod, izmantojot pulksteņa ciparnīcu. Ja augstākā sprieguma (AS) vektoru orientē pulksteņa ciparnīcā uz stāvokli 12, ko apzīmē ar stāvokli 0, tad zemākā sprieguma (ZS) vektors pulksteņa rādītāja virzienā būs orientēts pret ciparnīcas stāvokli, kas arī norādīs slēguma grupas numuru. Tā, piemēram, 3.23. att. (a) gan AS tinums, gan ZS tinums ir uztīti vienā virzienā un arī vektori abos tinumos būs vērsti vienā virzienā. Pulksteņa ciparnīcā tas atbilst stāvoklim 12 un šo grupu mēs saucam par nulltās grupas slēgumu  $\swarrow \searrow - 0$ . 3.23. att. (b) AS un ZS tinumi ir uztīti pretējos virzienos un mēs iegūstam sestās grupas slēgumu  $\swarrow \searrow - 6$ . Tādējādi trīsfāžu transformatoros katram slēguma veidam var izveidot 12 grupas ar fāžu nobīdes leņķi  $30^\circ$  starp līnijas EDS AS un ZS tinumos, turklāt zigzagzvaigznē kopā ar zvaigznes vai trīsstūra slēgumu var vēl iegūt arī citu nobīdi. Praksē, lai optimizētu transformatoru darbību un eksploataciju, parasti izgatavo transformatorus ar nullto vai vienpadsmito slēguma grupu.



3.23. att. Trīsfāžu transformatora slēguma grupa 0 (a) un 6 (b).

Biežāk lietotās trīsfāžu transformatoru slēgumu grupas ir parādītas 3.24. att..

a)

| Tinumu savienojumu shēmas |    | Vektoru diagrammas |    | Apzīmējums            |
|---------------------------|----|--------------------|----|-----------------------|
| AS                        | ZS | AS                 | ZS |                       |
|                           |    |                    |    | $\lambda/\lambda_0-0$ |
|                           |    |                    |    | $\lambda/\Delta-11$   |
|                           |    |                    |    | $\lambda_0/\Delta-11$ |

b)

| Tinumu savienojumu shēmas |    |    | Vektoru diagrammas |    |    | Apzīmējums                        |
|---------------------------|----|----|--------------------|----|----|-----------------------------------|
| AS                        | VS | ZS | AS                 | VS | ZS |                                   |
|                           |    |    |                    |    |    | $\lambda_0/\lambda_0/\Delta-0-11$ |
|                           |    |    |                    |    |    | $\lambda_0/\Delta/\Delta-11-11$   |

c)

| Tinumu savienojumu shēmas |    | Vektoru diagrammas |    | Apzīmējums                           |
|---------------------------|----|--------------------|----|--------------------------------------|
| AS un VS                  | ZS | AS un VS           | ZS |                                      |
|                           |    |                    |    | $\lambda_{0\text{ aut}}/\Delta-0-11$ |

3.24. att. Tinumu savienojumu shēmas un vektoru diagrammas trīsfāzu divtinumu (a), trīsfāzu trīstinumu (b) un trīsfāzu trīstinumu autotransformatoram (c).

### 3.4. TRANSFORMATORU GALVENIE PARAMETRI

Transformatoru galvenie parametri ir nominālā jauda, nominālais spriegums, nominālā strāva, īsslēguma spriegums, tukšgaitas strāva, kā arī tukšgaitas un īsslēguma zudumi.

**Nominālā jauda**  $S_N$  (kVA) ir izgatavotājrūpnīcas garantēta transformatora pilnā jauda, ar kuru tas var ilgstoši darboties nominālos uzstādīšanas un dzesēšanas apstākļos, ja frekvence un spriegums arī ir nominālie.

Vienfāzes transformatora nominālo jaudu aprēķina:

$$S_N = U_{1IN} I_{1IN}$$

Trīsfāžu transformatora nominālo jaudu aprēķina:

$$S_N = \sqrt{3} U_{1IN} I_{1IN} = 3 U_{1fN} I_{1fN}$$

$U_{1fN}$  – primārā tinuma nominālais fāzes spriegums;  $I_{1fN}$  – primārā tinuma nominālā fāzes strāva.

Divtinumu transformatora nominālā jauda ir vienāda ar katra tā tinuma nominālo jaudu. Trīstinumu transformatoram nominālā jauda ir vienāda ar jaudīgākā tinuma nominālo jaudu. Autotransformatoriem nominālā jauda ir vienāda ar caurplūdes nominālo jaudu. Transformatora ilgstošu darbību ar nominālo jaudu nominālajos apstākļos sauc par nominālo režīmu. Strādājot šajā režīmā, transformatora tinumi un magnētqvads nepārsniedz pieļaujamās darba temperatūras, kas savukārt nodrošina izgatavotājrūpnīcas garantēto nominālo darba mūžu. Trīsfāžu transformatoru nominālo jaudu skala ir sadalīta ar soli 1,6: 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630 kVA; utt. Transformatoriem ar jaudu virs 25 MVA šis solis ir 1,25. Tas nepieciešams, lai transformatoru labāk pielāgotu slodzēm.

**Nominālais spriegums**  $U_N$  [V], vai [kV] ir starpfāžu (līnijas) spriegums uz primāro un sekundāro tinumu pamatzarojuma. Šos lielumus nosaka tukšgaitas režīmā. Par transformatora tukšgaitu sauc režīmu, kad primārajam tinumam pievada spriegumu, bet sekundārā ķēde ir pārtraukta. Šajā režīmā var noteikt transformācijas koeficientu, tukšgaitas strāvu un tukšgaitas zudumus. Tam ir liela teorētiskā nozīme.

**Nominālā strāva**  $I_N$  [A] ir atbilstošā strāva transformatora primārā un sekundārā tinuma nominālajam spriegumam un nominālajai jaudai.

Par **īsslēguma spriegumu**  $u_{k\%}$  sauc spriegumu, kas jāpievada primārajam tinumam, lai īsi slēgtā sekundārajā tinumā plūstu nominālā strāva. Šo režīmu sauc par īsslēguma mēģinājumu un to izmanto, lai iegūtu īsslēguma spriegumu un īsslēguma zudumus. Īsslēguma spriegums  $u_k$  raksturo transformatora tinumu pilno pretestību. Tā kā noteicošā ir induktīvā pretestība, tad pilnā pretestība ir atkarīga no tinumu izmēriem un savstarpējā izvietojuma. Jo lielāks ir attālums starp vijumiem, jo lielāks ir īsslēguma spriegums un transformators labāk ierobežo īsslēguma strāvu. No otras puses, pieaug sprieguma zudumi un patērētā reaktīvā jauda transformatorā. Līdz ar to, konstruējot transformatorus, tiek izvēlētas īsslēguma sprieguma optimālās vērtības, kuras pieaug, palielinoties spriegumam un jaudai. Mūsdienu spēka transformatoriem īsslēguma spriegums ir robežās no 4,5% līdz 15%. ZS tinumu parasti uz magnētqvada uztin pirmo, bet AS tinumu virs tā. Savukārt, ja ir trīstinumu transformators, tad VS tinums tiek uztīts kā vidējais, tādā veidā palielinās attālums starp AS un ZS tinumiem un pieaug  $u_k$ . Tas nodrošina īsslēguma strāvas ierobežošanu ZS pusē, bet VS tinumā dod iespēju pievadīt lielāku jaudu ar mazāku sprieguma zudumu. Īsslēguma spriegumu izsaka procentuāli no nominālā sprieguma.

$$u_{k\%} = \frac{u_k}{U_n} \cdot 100$$

**Tukšgaitas strāvu**  $I_0$  – nosaka tukšgaitas režīmā un tā sastāv no divām komponentēm. Pirmā komponente ir reaktīvā, to sauc par magnetizēšanas strāvu  $I_{0r}$ . Tā rada galveno magnētisko plūsmu magnētqvadā.  $I_{0r}$  ir atkarīga no magnētqvada skārda magnētiskajām īpašībām, izmēriem un magnētiskās indukcijas serdē. Otra komponente ir aktīvā strāva  $I_{0a}$ , kas sedz magnētiskos zudumus magnētqvadā un elektriskos zudumus primārajā tinumā. Spēka transformatoriem  $I_{0a}$  nepārsniedz 10% no  $I_0$ . Zinot tukšgaitas strāvu, var noteikt transformatora tukšgaitas zudumus.



**Tukšgaitas zudumus** veido visa transformatora saņemtā jauda tukšgaitā  $P_0$ . Tukšgaitā slodzes nav un atdotā jauda ir vienāda ar 0, līdz ar to visa no tikla saņemtā jauda  $P_0$  tiek patērēta zudumu segšanai, un tie nav atkarīgi no transformatora slodzes. Tukšgaitas zudumus veido trīs lielumi.

$$P_0 = \Delta p_{mag0} + \Delta p_{el} + \Delta p_{pap}$$

Pirmie ir magnētiskie pamatzudumi magnētvasda tēraudā  $\Delta p_{mag0}$ . Tā ir lielākā zudumu daļa transformatora tukšgaitā. Šos zudumus izraisa virpuļstrāva un histerēze magnētvasdā. To samazināšana saistīta ar magnētvasda izgatavošanu. Otrie ir elektriskie zudumi primārajā tinumā  $\Delta p_{el}$ . Parasti tie ir mazāki par 2% un aprēķinos tos pieņem kā mazsvarīgu lielumu. Trešie ir tukšgaitas papildzudumi  $\Delta p_{pap}$ . Tie rodas no tērauda struktūras izmaiņām pie mehāniskās apstrādes, nevienmērīgas indukcijas lokšņu sadurvīetās un savelkošo skrūvju vietās, virpuļstrāvām, kas inducējas metāla detaļās un mezglos, zudumiem izolācijā augstsprieguma transformatoros. Praktiski šie papildzudumi sastāda 10% – 15% no pamatzudumiem. Katalogos tiek norādīti nominālie tukšgaitas zudumi  $P_{0n}$ , kas atbilst  $U_n$ .

**Īsslēguma zudumi** sastāv no jaudas zudumiem  $P_k$ , kas tiek patērēti zudumu segšanai, strāvai plūstot caur primāro un sekundāro tinumu.

$$P_k = \Delta p_{el} + \Delta p_{e2}$$

Zudumus tinumos veido pamatzudumi, kuri rodas, strāvai plūstot tinumu aktīvajā pretestībā, un papildzudumi, kuri rodas tinumos un transformatora konstrukcijās izkliedes plūsmas izraisīto virpuļstrāvu dēļ. Papildzudumi ir ievērojami mazāki par pamatzudumiem un tos ir sarežģīti noteikt, tādēļ tos pieskaita pamatzudumiem un izmanto koeficientu robežās no 1,05 līdz 1,15. Lai noteiktu īsslēguma zudumus un pretestības, tiek izdarīts īsslēguma mēģinājums. Transformatora sekundāro tinumu saslēdz īsi, un primārajam tinumam pievada pazeminātu spriegumu tā, lai tinumos plūstu strāva ne lielāka kā  $(1 - 1,2) \cdot I_n$ . Šādā veidā, regulējot spriegumu, tiek uzņemtas īsslēguma raksturliiknes. No īsslēguma mēģinājuma rezultātiem aprēķina īsslēguma pilno, aktīvo un induktīvo pretestību

$$Z_k = \frac{U_1}{I_{N1}} \quad R_k = \frac{P_1}{I_1^2} \quad X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$$

kā arī īsslēguma spriegumu un īsslēguma sprieguma komponentes

$$u_{k\%} = \frac{I_N Z_N}{U_N} \cdot 100; \quad u_{ka\%} = \frac{I_N R_N}{U_N} \cdot 100; \quad u_{kr\%} = \frac{I_N X_K}{U_N} \cdot 100$$

Praktiskos aprēķinos īsslēguma zudumus aprēķina izmantojot slodzes koeficientu  $\beta$

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1N}} = \frac{I_2}{I_{2N}}$$

Pārveidojam izteiksmi

$$I_1 = \beta I_{1N} \quad \text{un} \quad I_2 = \beta I_{2N}$$

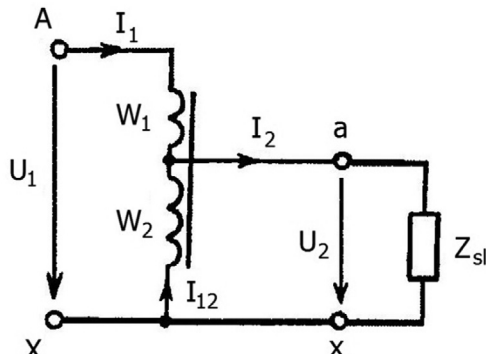
Izmantojot iepriekšējo izteiksmi, varam aprēķināt īsslēguma zudumus

$$P_K = \beta^2 I_{1N} R_k = \beta P_{kN}$$

$P_{kN}$  – ir īsslēguma zudumi, kas atbilst nominālajai strāvai tinumos.

### 3.5. AUTOTRANSFORMATORI

Sākot ar 110 kV spriegumu, elektriskajos tīklos izmanto autotransformatorus. Apskatīsim to darbības principus un pamatsakarības. Autotransformatori var būt gan spriegumu paaugstinoši, gan spriegumu pazeminoši. Būtiskākā atšķirība no iepriekš apskatītajiem transformatoriem ir tā, ka AS tinums un ZS tinums ir savstarpēji saistīti ne tikai magnētiski, bet arī elektriski. Tinumam ir trīs izvadi – augstākā sprieguma izvads AS, vidējā sprieguma izvads VS un neitrāls (0) izvads (3.25. att.). Tinums starp (0) izvadu un VS izvadu ir kopīgais tinums, ko apzīmēsim ar  $W_2$ . Tinumu starp VS izvadu un AS izvadu sauc par virknes tinumu, ko apzīmēsim ar  $W_1$ .



3.25. att. Vienfāzes pazeminošā autotransformatora shēma.

*Virtnes* tinumā plūst strāva  $I_1$ , kas radot magnētisko plūsmu, *kopīgajā* tinumā transformē strāvu  $I_{12}$ . Tā kā tinumi ir elektriski saistīti, tad  $I_1$  noslēdzas caur VS tīklu. No 3.25. att. redzam, ka strāva VS izvadā veidosies no  $I_1$  un  $I_{12}$  summas.

$$I_2 = I_1 + I_{12}$$

Pārveidojot formulu, iegūstam

$$I_{12} = I_2 - I_1$$

Sakarība starp strāvām un spriegumiem būs tāda pati, kā parastiem transformatoriem

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{W_1 + W_2}{W_2} = K$$

Autotransformatora pilno jaudu, ko tas pārvada no primārās puses uz sekundāro pusi, sauc par caurplūdes jaudu  $S$ . Ņemot vērā zudumus tinumu pretestībā, pilnā jauda AS un ZS pusēs ir vienādas.

$$S = U_1 I_1 = U_2 I_2$$

Šo izteiksmi varam pārveidot

$$S = U_1 I_1 = [(U_1 - U_2) + U_2] I_2 = (U_1 - U_2) I_2 + U_2 I_2$$

Tādējādi redzam, ka kopējo jaudu sastāda divas komponentes un šo izteiksmi var pierakstīt sekojoši:

$$S = S_e + S_{em}$$

$S_e$  – ir *elektriskā* jauda, kas no autotransformatora primārā tīkla tiek nodota sekundārajā tīklā elektriskā ceļā, tas ir pa vadiem.  $S_{em}$  – ir *elektromagnētiskā* (transformētā) jauda, kas no autotransformatora primārā tīkla tiek nodota sekundārā tīklā elektromagnētiskā ceļā.  $S_{em}$  sauc par aprēķina jaudu. Elektromagnētiskās (transformētās) jaudas un caurplūdes (pilnās) jaudas attiecību sauc par tipa (izdevīguma) koeficientu –  $k_{tip}$ .

$$k_{tip} = \frac{S_{em}}{S} = \frac{(U_1 - U_2) I_2}{U_1 I_1} = 1 - \frac{U_2}{U_1}$$

Latvijas elektropārvades tīklos ar 330/110 kV spriegumu lietotajiem autotransformatoriem  $k_{tip} = 0,65$ . Zinot šo koeficientu, var noteikt tipa jaudu. Tā ir transformētā jauda atbilstoši autotransformatora nominālajai jaudai

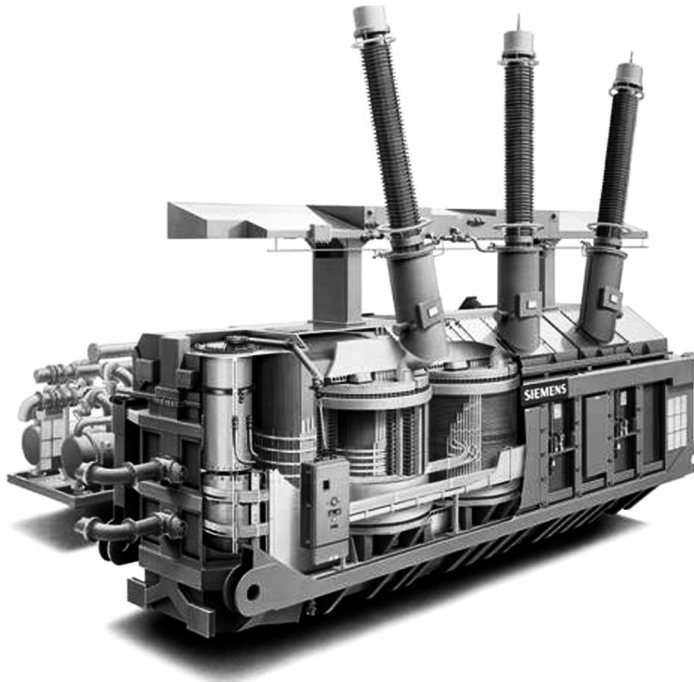
$$S_{tip} = k_{tip} S_N$$

$S_N$  – ir autotransformatora nominālā jauda, kas atbilst caurplūdes jaudai nominālā režīmā. Tipa jauda ir tas lielums,

pēc kura izvēlas un izgatavo autotransformatora magnēt vadu, virknes un kopīgo tinumu. Tā tad autotransformatora izmērus, masu, aktīvo materiālu patēriņu nosaka nevis nominālā jauda, bet tipa jauda. Jo tuvāk skaitlim 1 ir attiecība

$$\frac{U_1}{U_2},$$

jo mazāka tipa jaudas daļa sastāda nominālo jaudu, un autotransformators ir izdevīgāks, salīdzinot ar parasto transformatoru. Ja šī attiecība ir 1, tad visu jaudu autotransformators pārvada elektriski. Trīstinumu autotransformatora tinumu novietojums ir parādīts 3.26. att.. Virknes tinums ir izveidots no divām daļām. Abas daļas ir uztītas viena virs otras koncentriska cilindra veidā, bet ar pretējiem tīšanas virzieniem. AS sprieguma izvads ir novietots pa vidu, bet VS tinumu gali ir saslēgti paralēli un savienoti ar kopīgo tinumu. Papildus vēl ir *terciārais tinums* 6 – 35 kV spriegumam. Tā galvenais uzdevums ir kompensēt nullsecības strāvu veidojošās augstākās harmoniskās komponentes, kā arī to var izmantot vietējā rajona elektroapgādē, vai ģeneratoru un sinhrono kompensatoru pieslēgšanā.



3.26. att. Trīstinumu autotransformatora tinumu novietojums.

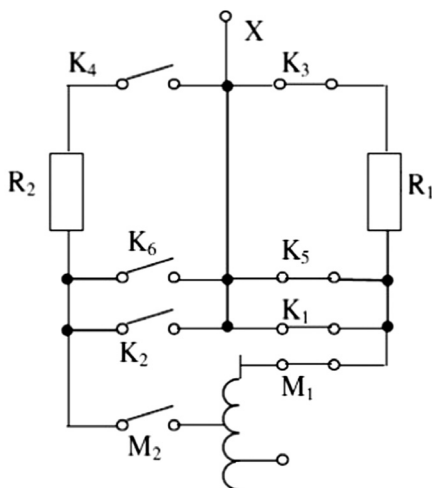
Autotransformatora priekšrocības, salīdzinot ar transformatoru, ir: augstāks lietderības koeficients, zemāki tukšgaitas un īsslēguma zudumi, mazāka tukšgaitas strāvas un sprieguma izmaiņa, mazākas izmaksas un aktīvo materiālu patēriņš.

Autotransformatora trūkumi, salīdzinot ar transformatoru, ir:

- Drikt savienot tikai efektīvi zemētas neitrāles tīklus un autotransformatora neitrālei jābūt sazemētai. Pretējā gadījumā AS un VS tīklā vienfāzes zemēslēguma gadījumā nonāks nepieļaujami augsts spriegums.
- Tā kā īsslēguma spriegums ir mazāks, tad tikpat reizes lielākas ir īsslēguma strāvas, kas var bojāt AS un VS tinumus. Īpaši lielas ir vienfāzes un divfāžu īsslēgumu strāvas, kad īsslēgums ir ar zemi.
- Būtisks trūkums pie kopējā tinuma mehāniska pārrāvuma ir augstākā sprieguma nokļūšanas iespēja zemākā sprieguma pusē. Tas var būt bīstami gan iekārtai, gan apkalpojošajam personālam. Tāpēc arī ZS pusē izolācijai ir jābūt tādai pašai, kā AS tinumam.
- Pārspriegums AS tīklā pa elektriski saistīto ķēdi nokļūst ZS pusē. Aizsardzībai izmanto ventilizlādņus, ko uzstāda autotransformatoram abās pusēs pirms atslēdzošām iekārtām, tādā veidā aizsargājot to, ja no kādas puses ir atslēgts.

### 3.6. SPRIEGUMA REGULĒŠANA AUTOTRANSFORMATOROS

Elektriskā tīkla noslodze laikā mainās un līdz ar to mainās arī sprieguma kritumi. Lai saskaņotu pārvades tīklu un sadales tīklu darbības režīmus, kā arī nodrošinātu optimālus darba režīmus sadales tīkla transformatoriem, pielieto sprieguma regulēšanu. Tā balstās uz transformācijas koeficienta maiņu, pārslēdzot pakāpes. Lai to nodrošinātu, tinumiem tiek izveidoti atzarojumi. Regulēšanas ierīces var būt paredzētas pārslēgšanai gan tukšgaitā, gan zem slodzes (SRI), tām ir rokas vadība un automātiskā vadība. Transformatoriem regulējamā sekcija ir izveidota zemākā sprieguma pusē neitrālē. Tas samazina prasības pret pārslēgšanas mehānisma izolāciju, kā arī vienkāršo konstrukciju. SRI izmanto spriegumiem 35 – 330 kV ar regulēšanas soli diapazonā no 1 līdz 1,5%. Tas ir izveidots kā atsevišķs bloks transformatora tvertnē, un loka dzēšanas kameras ir izolētas no transformatora eļļas. Lieto arī kontaktoru vakuuma dzēškameras, kā arī ātrdarbīgas bezkontakta sprieguma regulēšanas sistēmas, kas balstās uz pusvadītāju tehnikas izmantošanu. Autotransformatoriem izmanto automātiski vadāmas ierīces sprieguma regulēšanai zem slodzes. Šajā gadījumā regulēšanu nevar veikt zemākā sprieguma pusē, jo abi tinumi ir saistīti elektriski un vijumu skaits mainīsies vienlaicīgi abiem tinumiem, kas krasi samazina regulēšanas efektivitāti. Tādēļ tika izstrādāts sprieguma regulators 110 kV spriegumam. Darbības shēma SRI ar strāvu ierobežojošām pretestībām ir parādīta 3.27. att..

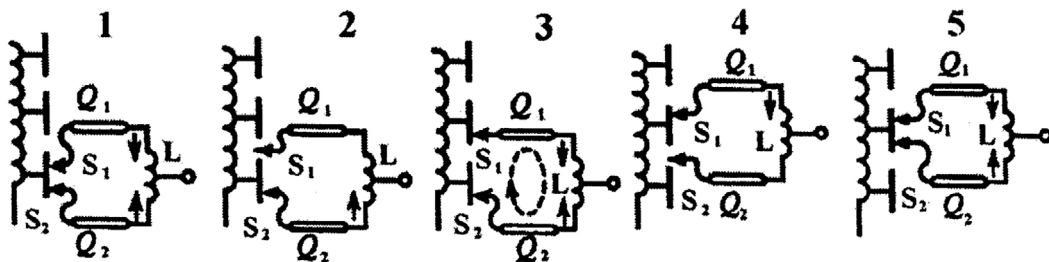


3.27. att. Autotransformatora sprieguma regulatora shēma ar strāvu ierobežojošām pretestībām.

Darbības princips ir sekojošs:

- Vispirms tiek ieslēgts meklētājs M2;
- Tiek atslēgti kontaktori K1 un K52, slodzes strāva plūst caur rezistoru R1;
- Tiek ieslēgts kontakts K4, caur rezistoru R2 plūst izlīdzinošā strāva un slodzes strāva;
- Tiek atslēgts kontakts K3, slodzes strāva plūst caur rezistoru R2;
- Tiek ieslēgts kontakts K2 un K6, slodzes strāva plūst caur tiem, rezistors R2 ir nošuntēts;
- Tiek atslēgts meklētājs M1.

110 kV autotransformatoram sprieguma regulēšanas diapazons ir  $\pm 11$  kV ar 17 pakāpēm un soli 1,117%. Pārslēgšanas mehānisms ir novietots ārpusē uz izolatora, kas atrodas uz autotransformatora vāka. Kā darbinātājs ir savienotājpārpsta, kura izgatavota no izolācijas materiāla. Sprieguma regulēšanai zem slodzes izmanto dažādas shēmas. Viens no veidiem ir strāvas ierobežošana ar reaktoriem 3.28. att.. Shēma darbojas automātiski.

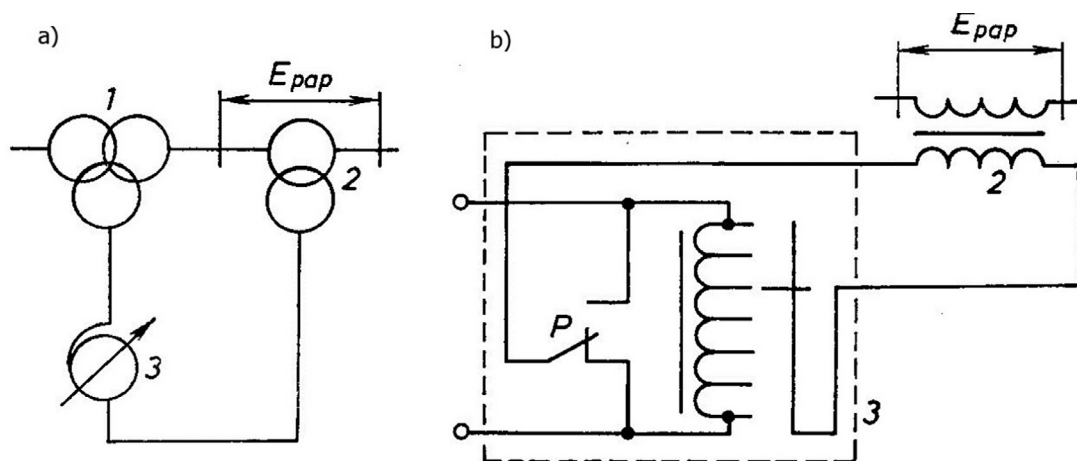


3.28. att. Autotransformatora sprieguma regulatora shēma ar strāvu ierobežojošiem reaktoriem L.

Pirmajā pozīcijā kontakti S1 un S2 ir uz vienas pakāpes un tie atrodas transformatora eļļas tvertnē. Slēdži Q1 un Q2 atrodas atsevišķā tvertnē. Reaktora L izvads ir tinumiem pa vidu. Tinumi ir uztīti savstarpēji pretējos virzienos, tātad pretslēgumā, un to pretestība ir ļoti maza. Kā trūkumu var minēt pastiprinātu elektrisko loku, kas paātrina kontaktu nodilumu. Darbība ir sekojoša:

- 1. pozīcija – sākuma stāvokli kontakti S1 un S2 ir uz vienas pakāpes;
- 2. pozīcija – tiek atslēgts slēdzis Q1, un S1 pārtrauc savienojumu ar esošo pakāpi;
- 3. pozīcija – tiek ieslēgts Q1, un S1 saslēdzas ar nākamo pakāpi. Strāvu, kas plūst noslēgtajā kontūrā, ierobežo L. Reaktors ir paredzēts īslaicīgam darba režīmam;
- 4. pozīcija – tiek atslēgts Q2 un S2 pārtrauc savienojumu ar iepriekšējo pakāpi;
- 5. pozīcija – tiek ieslēgts Q2 un S2 saslēdzas ar nākamo pakāpi. Transformators darbojas ar jaunu transformācijas koeficientu.

Statistika rāda, ka SRI ir vājākais posms apakšstaciju iekārtās un 40% transformatoru avāriju ir saistītas ar SRI bojājumiem. Tādēļ to uzlabošanai tiek pievērsta papildus uzmanība. Sprieguma regulēšanai augstākiem spriegumiem, piemēram, 740/330 kV nav iekārtas, kas būtu paredzētas darbam augstākā sprieguma pusē. Šādā gadījumā izmanto sprieguma regulēšanu neitrālē vai ievadot papildus spriegumu ar virknes transformatoru. Ja transformatora jauda ir virs 100 MVA, tad arī sprieguma regulēšanai izmanto autotransformatoru, kurš pieslēgts SRI iekārtai. Šāda transformatoru atdalīšana, protams, prasa papildus vietu un sadārdzina, bet no pozitīviem ieguvumiem var minēt augstāku SRI izmantošanas efektivitāti un iespēju vieglāk aizsargāt sprieguma regulēšanas iekārtas no pārspriegumiem, kā arī vajadzības gadījumā tās atslēgt, neatslēdzot pamattransformatoru. Apskatīsim tā sauktos *būstertransformatorus*, kas paredzēti sprieguma regulēšanai lieljaudas transformatoriem un autotransformatoriem, kam nav iebūvētu SRI.



3.29. att. Sprieguma regulēšana ar būstertransformatoru:

a) slēguma shēma; b) principiālā shēma; 1 – galvenais transformators; 2 – virknes transformators; 3 – regulējošais autotransformators.

Būstertransformators (3.29. att.) sastāv no virknes transformatora 2, kas rada papildus EDS ( $E_{pap}$ ) galvenā transformatora 1 tinumā un kura vērtību savukārt regulē autotransformators 3. Atkarībā no regulēšanas shēmas, virknes transformatora sekundāro tinumu var ieslēgt galvenā transformatora AS, VS ķēdē vai neitrālē. Autotransformatoru baro no galvenā transformatora ZS tinuma. Pārslēdzis P nodrošina polaritātes maiņu – vai nu  $E_{pap}$  piesummē, vai atņem no galvenā transformatora sprieguma vērtības. Sprieguma lieluma regulēšanu sauc par *gārēnregulēšanu*, bet ja veic fāzes maiņu, tad to sauc par *šķērsregulēšanu*. Ar būstertransformatoriem var arī mainīt fāzes, tādā gadījumā  $E_{pap}$  ir nobīdīts fāzē par  $90^\circ$  attiecībā pret regulējamo spriegumu.

### 3.7. JAUTĀJUMI PAŠKONTROLEI

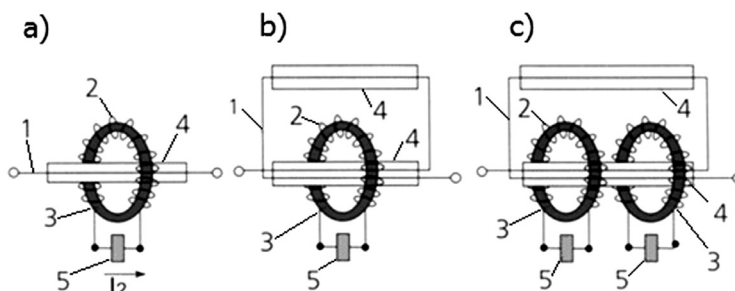
1. Ko sauc par spēka transformatoru?
2. Kāpēc transformators ir vajadzīgs un kādas funkcijas tas veic?
3. Nosaukt galvenās transformatora sastāvdaļas, uzbūvi un darbības principu.
4. No kā sastāv transformatora karkass un kāpēc tas jāsazemē?
5. No kā sastāv transformatora elektriskā sistēma? Raksturojiet uzbūves principus.
6. Ar ko atšķiras transpozīcijas princips no transponētiem vadiem?
7. Kāpēc ir vajadzīga transformatoru dzesēšana?
8. Nosaukt transformatoru dzesēšanas variantus.
9. Nosaukt eļļas transformatora dzesēšanas palīgierīces.
10. Kādā veidā transformatora eļļā var nokļūt mitrums un kā to novērst?
11. Kādam nolūkam ir paredzēts gāzes relejs un kāds ir tā darbības princips?
12. Uzzīmēt principiālo shēmu, vektoru diagrammu un grafisko apzīmējumu trim variantiem: trīsstūra slēgumam, zvaigznes slēgumam ar nullpunktu, zigzagzvaigznes slēgumam ar nullpunktu.
13. Kādas ir zigzagzvaigznes slēguma īpatnības?
14. Kā atšķiras spriegumi un strāvas zvaigznes slēgumā, trīsstūra slēgumā un zigzagzvaigznes slēgumā?
15. Paskaidrot, kas ir slēgumu grupas.
16. Uzrakstīt vienfāzes un trīsfāžu transformatora nominālās jaudas formulu.
17. Kas ir tukšgaitas režīms?
18. Kas ir īsslēguma mēģinājums?
19. Kas ir tukšgaitas zudumi?
20. No kā veidojas īsslēguma zudumi un kā tos noteikt?
21. Aprakstīt autotransformatora darbības principus.
22. Kas ir caurplūdes jauda?
23. Kas ir aprēķina jauda?
24. Kas ir tipa koeficients?
25. Kāpēc autotransformatora neitrālei jābūt sazemētai?
26. Kāpēc autotransformatoram pārsprieguma aizsardzību uzstāda gan primārajā pusē, gan sekundārajā pusē?
27. Kāpēc ir vajadzīga sprieguma regulēšana autotransformatorā un kāds ir tās darbības princips?
28. Kas ir garenregulēšana un kas ir šķērsregulēšana?

## 4. MĒRMAIŅI

Par mērmaiņiem sauc divu veidu aparātus. Tie ir strāvmaiņi un spriegummaiņi. Apskatīsim mērmaiņus augstsprieguma ķēdēs, tos uzstāda gan brīvgaisa, gan iekštipa sadaliekārtās. Tie var būt gan iebūvēti, gan uzstādīti atsevišķi. Mērmaiņu uzdevums ir: nodrošināt strāvas un sprieguma mērīšanu, releju vadības, uzskaites un automātikas ķēžu barošanu, nodrošināt mērinstrumentu, aizsardzības un vadības aparātu drošu izolēšanu no augstsprieguma ķēdēm. Pēdējo realizē, attālinot sekundārās ķēdes no primārās ķēdes, tas nodrošina apkalpojošā personālu drošību, kā arī samazina izbūves izmaksas. Mērmaiņi augstsprieguma ķēdēs var būt gan āra tipa izpildījumā, gan iekštelpu tipa izpildījumā. Abos gadījumos konstruktīvais izpildījums ir ļoti daudzveidīgs. Releju aizsardzības un automātikas ķēdes laika gaitā ir ļoti mainījušās, daudz kas darbojas uz mikroprocesoru bāzes, bet mērmaiņu funkcionālā nozīme ir saglabājusies. Līdz ar to ļoti svarīga ir mērmaiņu droša un precīza darbība. Precizitāte un pieļaujamās kļūdas, atkarībā no izmantošanas, tiek iedalīta precizitātes klasēs: 0.2; 0.5; 1; 3; 5; 10.

### 4.1. STRĀVMAIŅI

Strāvmaiņa uzbūve pēc būtības ir tāda pati kā transformatoram (4.1.1. att.). Ir primārais tinums – 1, par kuru kalpo strāvas vadītājs primārajā ķēdē, magnētqvads – 3 un sekundārais tinums – 2, pie kura ir pieslēgta releju aizsardzības, uzskaites un vadības ķēdes – 5. Tātad strāvmainis ir paredzēts primārās strāvas samazināšanai līdz lielumam, kuru var izmantot mēraparātu, releju aizsardzības un vadības darbināšanai, kā arī lai atdalītu mērīšanas, aizsardzības un vadības ķēdes no primārās augstsprieguma ķēdes.



4.1.1. att. Vispārīga strāvmaiņa uzbūve:

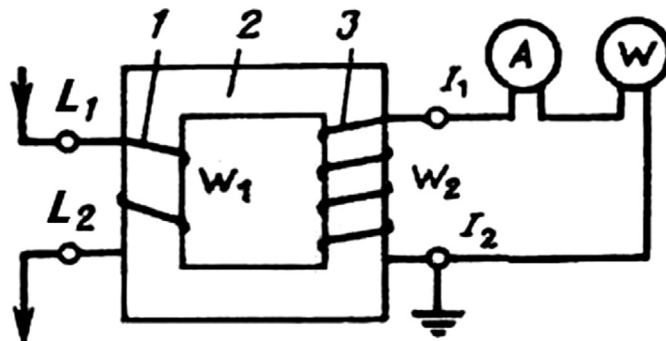
*a – vientinuma strāvmainis, b – daudztinumu strāvmainis, c – daudztinumu strāvmainis ar diviem magnētqvadiem.*

Strāvmaiņiem ir raksturīgas sekojošas darbības īpatnības:

- Tie darbojas īsslēguma režīmā un sekundārā strāva praktiski ir proporcionāla primārajai strāvai;
- Primārā strāva nav atkarīga no sekundārās slodzes;
- Tie normāli darbojas ar īsslēgu sekundāro tinumu;
- Spriegums uz strāvmaiņu sekundārajām spailēm ir proporcionāls sekundārajai strāvai.

Uzstādot strāvmaiņus, ir jāpārbauda *vienpolārie gali*. Tas nozīmē, ka primārajā vienpolārajā galā **II** ieplūst strāva  $I_1$  un sekundārajā vienpolārajā galā **II** izplūst strāva  $I_2$ . Šo strāvu fāzēm ir savstarpēji jāsakrīt. Pārbaudīt var sekojoši (4.1.1. att.): primārajam izvadam **II** pieslēdz barošanas avota + spaili un sekundārajam izvadam **II** pieslēdz galvanometra + spaili, tad, ieslēdzot elektrisko ķēdi, galvanometra rādītājs novirzīsies pa labi, bet atslēdzot – pa kreisi. Tādējādi esam atraduši vienpolāros galus, bet, ja galvanometra rādītājs novirzās pretēji, tad tie nav vienpolārie gali.





4.1.2. att. Strāvmaiņa uzbūves shēma: 1 – primārais tinums ar izvadu  $L_1$  un  $L_2$ ;  
2 – magnētvars; 3 – sekundārais tinums ar izvadiem  $I_1$  un  $I_2$ .

Strāva  $I_1$  rada magnētserdē magnētisko plūsmu  $\Phi_1$ , kas inducē sekundārajā tinumā EDS. Sekundārais tinums ir noslēgts, un tajā plūst strāva  $I_2$ , kas savukārt rada magnētisko plūsmu  $\Phi_2$ . Atbilstoši Lenca likumam,  $\Phi_2$  darbojas pretēji  $\Phi_1$ , un rodas rezultējošā magnētiskā plūsma  $\Phi_0$ , kas arī nodrošina enerģijas pārvadi no primārā tinuma uz sekundāro tinumu.

Mēriekārtu un releju aizsardzības ķēžu aparātiem ir maza pretestība, tāpēc strāvmaiņi normāli strādā režīmā, kas ir tuvs īsslēgumam. Ja sekundārā ķēde darba stāvokli tiek pārtraukta, tad magnetizējošā strāva magnētavadā strauji pieaug (nav  $\Phi_2$  komponentes). Rezultātā strauji pieaug magnētvara temperatūra un sekundārajā pārtrauktajā tinumā inducējas augsts spriegums, kas var sasniegt vairākus kV. Šajā režīmā strāvmainis tiks bojāts, un radīsies apdraudējums apkalpojošajam personālam. Tādēļ, lai atvienotu iekārtas no sekundārās ķēdes, strāvmaiņu sekundārie izvadi ir jāsavieno īsi, vai jāatslēdz primārās strāvas ķēde. Strāvmaiņu sekundāro ķēžu pārtraukšana darba režīmā nav atļauta.

#### 4.1.1. Transformācijas koeficients

Transformācijas koeficients ir strāvmaiņa galvenais raksturojošais lielums. Ja strāvmaiņa primārā strāva un sekundārā slodze nepārsniedz nominālās vērtības, tad magnetizēšanas strāva sastāda ne vairāk par 1 – 3% no primārās strāvas, un varam pieņemt, ka magnētserdē praktiski nav enerģijas zudumu. Līdz ar to transformācijas koeficientu varam atrast pēc formulas:

$$K_{I,N} = \frac{I_{1N}}{I_{2N}}$$

Kur  $I_{1N}$  – primārā tinuma nominālā strāva,  $I_{2N}$  – sekundārā tinuma nominālā strāva. Strāvmaiņus izgatavo ar divu veidu sekundārajām strāvām  $I_{2N} = 5$  A un  $I_{2N} = 1$  A. Strāvmaiņus ar  $I_{2N} = 1$  A izmanto sākot ar 35 kV un augstāku spriegumu brīvgaiss iekārtās, kad strāvmaiņi atrodas tālu no releju aizsardzības un vadības ķēdēm. Tas samazina jaudas zudumus un pieļauj lielāku slodzes pretestību sekundārajās ķēdēs.

#### 4.1.2. Strāvmaiņu kļūdas

Kaut arī, aprēķinot transformācijas koeficientu, pieņemām, ka enerģijas zudumu magnētserdē nav, praktiski enerģijas patēriņš pašā strāvmainī pastāv. Tas ir saistīts ar konstruktīvām īpašībām, ar magnētvara šķērsgriezumu, materiālu, magnētiskās plūsmas garumu, primārajām strāvām. Reducētās strāvas atšķirību no primārās strāvas sauc par strāvmaiņa kļūdu. Atkarībā no pielietojuma un pieļaujamo kļūdu lieluma, strāvmaiņus ražo atbilstošām, normētām precizitātes klasēm (0.2; 0.5; 1; 3; 5; 10). Izšķir divu veidu kļūdas:

- Strāvas kļūdu  $\Delta I$  – izsaka procentos un tā ir izmērītās strāvas  $k_I I_2$  un faktiskās primārās strāvas  $I_1$  starpība.

$$\Delta I = \frac{k_I I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100$$

- Leņķa kļūda  $\delta$  tiek definēta kā leņķis  $\delta$  starp primārās un sekundārās strāvas vektoriem.

$$\sin\delta = \frac{I_0}{I_1} \cos\delta$$

Leņķa kļūdu iespaido primārā strāva  $I_1$ , magnetizēšanas strāva  $I_0$ , sekundārās slodzes raksturs (aparātu pretestība, vadi, kontakti). Tā tiek normēta 0.2; 0.5 un pirmajai precizitātes klasei. Precizitātes klase un sekundārās slodzes nominālā pretestība ir dota strāvmaiņu pasēs. Piemēram, strāvmaiņus ar:

- 0,2 precizitātes klasi izmanto precīziem laboratorijas un kontroles mērījumiem;
- 0,5 precizitātes klasi izmanto komercskaitītāju pieslēgšanai;
- 1 precizitātes klasi izmanto tehniskās uzskaites mēraparātiem;
- 3 precizitātes klasi izmanto sadales mēraparātiem un releju aizsardzībai;
- 10 precizitātes klasi izmanto releju aizsardzībai.

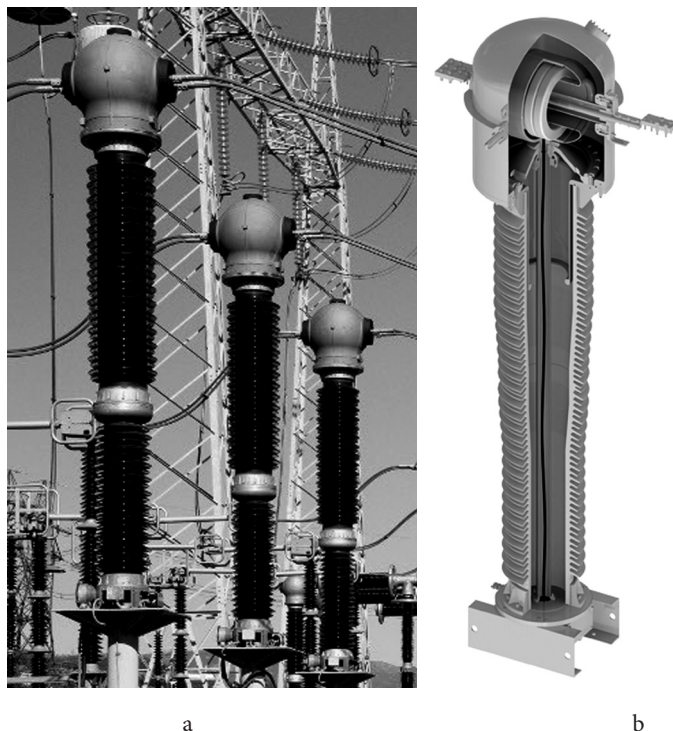
Releju aizsardzības gadījumā jāreķinās ar lielām īsslēguma strāvām, kas rada lielas magnetizēšanās strāvas, piesātinot magnētvalu un palielinot kļūdu. Tāpēc, izvēloties releju aizsardzības iestatījumus, jāņem vērā 10% strāvmaiņu strāvas kļūda. Strāvmaiņu pārbaude tiek noteikta pēc desmitprocentu kārtņības liknēm. Lai to veiktu, ir jāzina īsslēguma strāvas  $I_k$  un primārās nominālās strāvas  $I_{IN}$  attiecība  $K_k$

$$K_k = \frac{I_k}{I_{IN}}$$

#### 4.1.3. Strāvmaiņu klasifikācija

*No ekspluatācijas viedokļa* – atbilstoši precizitātes klasei, augstspriegumu ķēdēs strāvmaiņus var iedalīt mērstrāvmaiņos un releju aizsardzības strāvmaiņos. Tā kā pārsvarā ir vajadzīgi abi nosacījumi, tad tiek ražoti strāvmaiņi ar vairākiem magnētvaldiem, kuriem ir viens kopīgs primārais tinums (3.1.1. att. c). *Mērstrāvmaiņu* ķēdēs magnētvals ir plānāks un veidots no materiāla, kas ātri piesātinās. Rezultātā tas precīzi kalpo nominālā darba režīmā un pie nelielām pārslodzēm, bet īsslēguma gadījumā strauji piesātinās, ierobežojot elektrodinamisko un termisko iedarbību uz mēraparātiem. *Releju aizsardzības* strāvmaiņu magnētvals ir biežāks un veidots no elektrotehniskā transformatora skārda, kas īsslēguma gadījumā mazāk piesātinās un nodrošina releju aizsardzības nostrādi robežās no  $(10 - 30) I_{N1}$ . Šos strāvmaiņus parasti apzīmē ar burtu P.

*Pēc uzstādīšanas vietas* – brīvgaisa iekārtās (4.1.3. att.), iekštelpās un iebūvētie strāvmaiņi.



4.1.3. att. Brīvgaisa strāvmaiņi:

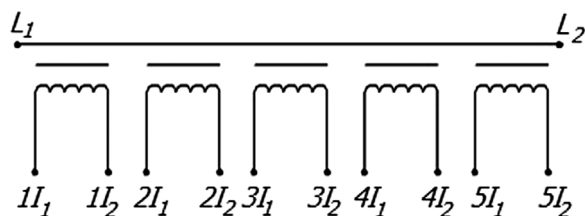
*a* – SF6 gāzes izolēts transformators, tips: TAG (72.5 – 550 kV),

ražotājs: Trench (Siemens Group);

*b* – Krievijā ražots: TTΦ-330.

Pēc primārā tinuma vijumu skaita un izvietojuma. Vienvijuma strāvmaiņi, kur primāro vijumu veido viens metāla stienis. Spoles strāvmaiņi, kur primārais tinums ir uztīts kā spole virs sekundārā tinuma un abiem ir kopīgs magnētvars. Cilpu strāvmaiņi, kur primāro vijumu skaits ir neliels un tijs garenu cilpu veidā. Magnētvedi var būt viens vai vairāki. Astotnieka strāvmaiņi, kur primārais tinums gredzenveidā ir izvērts caur magnētvedu, tā veidojot “astotnieku” un virs tā uztīts sekundārais tinums. Šādus strāvmaiņus izmanto spriegumam 35 kV – 500 kV.

Pēc transformācijas pakāpju skaita. Izšķir strāvmaiņus ar vienu transformācijas pakāpi un kaskādes tipa strāvmaiņus, kuri arī ir vienas transformācijas pakāpes strāvmaiņi, tikai sekundārie tinumi ir sadalīti vairākās neatkarīgās izolētās daļās. Kopīgo transformācijas koeficientu  $K_t$  atrod kā atsevišķo pakāpju transformācijas koeficientu reizinājumu.



4.1.5. att. TTM tipa piectinuma strāvmaiņa principālā shēma.

4.1.5. att. ir piemērs piectinumu strāvmainim. Strāvmainis ir paredzēts 110 kV spriegumam. Pirmais tinums ir ar 0,1 – 0,2 S precizitātes klasi un paredzēts kā mērmainis. Otrais tinums ir ar 0,2 – 0,5 S precizitātes klasi un paredzēts kā mērmainis. Trešais, ceturtais un piektais tinums ir ar 5 P; 10 P precizitātes klasi un paredzēts releju aizsardzības ķēdēm.

Pēc nominālās sekundārās strāvas izšķir 5A un 1A strāvmaiņus. Pēc izolācijas veida starp primāro un sekundāro pusi (galvenie izolācijas veidi augstsprieguma iekārtās būtu cieta tipa izolācija, transformatoreļļas izolācija, gāzes izolācija).

#### 4.1.4. Strāvmaiņu izvēle

Strāvmaiņus izvēlas pēc sekojošiem kritērijiem:

- Pēc nominālā sprieguma:

$$U_N \geq U_{tikl.}$$

- Pēc nominālās strāvas ir divi nosacījumi – jāizvēlas gan pēc nominālās sekundārā tinuma strāvas: 1A vai 5A, gan pēc primārā tinuma strāvas:

$$I_{IN} \geq I_{apl.}$$

- Pēc pieļaujamās sekundārās slodzes:

$$Z_{2N} \geq Z_2$$

Kur  $Z_{2N}$  – nominālā slodze strāvmainim ar izraudzīto precizitātes klasi.  $Z_2$  – aplēses slodze, kas sastāv no ( $Z_{sl}$ ) summārā visvairāk noslogotā strāvmaiņa slodzes pretestības, ( $R_{kont} \approx 0,1\Omega$ ) kontaktu aktīvās pretestības, ( $R_v$ ) vadu aktīvās pretestības.

- Pēc termiskās izturības:

$$(K_{th} I_{IN})^2 t_{th} \geq B_k$$

Kur  $K_{th} = I_{th} / I_{IN}$  – termiskās izturības koeficients (dots strāvmaiņu pasēs),  
 $I_{th}$  – strāvmaiņu termiskās izturības strāva,  $t_{th}$  – strāvmaiņa termiskās izturības laiks.

- Pēc dinamiskās izturības:

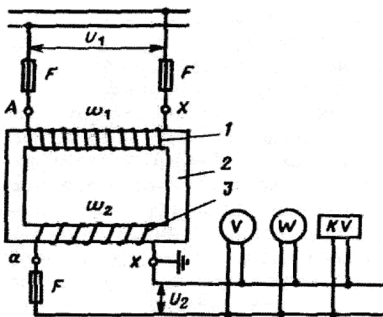
$$K_{dyn} \sqrt{2} I_{IN} \geq i^{tr}$$

Kur  $K_{dyn}$  – dinamiskais strāvmaiņu koeficients, kas atrodams strāvmaiņu pasē. Iebūvētos strāvmaiņus nav jāizvēlas pēc dinamiskās izturības.

- Pēc apkārtējās vides un uzstādīšanas vietas.

## 4.2. SPRIEGUMMAIŅI

Spriegummainim ir divi uzdevumi. Pirmais ir atdalīt augstsprieguma ķēdes no sekundārajām zemsprieguma ķēdēm, samazinot spriegumu līdz 100 V un līdz ar to garantēt drošus darba apstākļus apkalpojošajam personālam. Spriegummainis paredzēts sprieguma, jaudas un elektroenerģijas mērīšanai, kā arī nodrošina releju aizsardzības automātikas un signalizācijas ķēžu barošanu. Spriegummaiņi ir kā nelielas jaudas transformatori. To uzbūve ir atšķirīga, bet pamatsastāvdaļas ir primārais tinums  $\omega_1$  (1), sekundārais tinums  $\omega_2$  (3) un magnētvars (2) (4.2.1. att.). Sākuma galus apzīmē ar A un a, bet beigu galus ar X un x. Spriegummaiņi var būt vienfāzes un trīsfāžu. Tie var būt vientinuma un trīstinumu. Tāpat kā strāvmaiņiem, arī spriegummaiņiem ir noteiktas precizitātes klases: 0,2; 0,5; 1,0; 3. Arī izolācijas veidi var būt atšķirīgi (sausā, eļļas, gāzes izolācija). Uztādīšanas veids var būt brīvgaisa, iekštelpu un slēgtā tipa izpildījumā.



4.2.1. Vienfāzes spriegummaiņa pieslēgšanas shēma.

4.2.1. att. ir parādīts vienfāzes spriegummainis, kuru var izmantot gan vienfāzes slodzes, gan, slēdzot pie līnijas sprieguma, trīsfāžu slodzes ķēdēs. Drošības nolūkos viens no sekundārā tinuma izvadiem tiek sazemēts. Drošinātājus (F) uzstāda spriegummaiņiem 35 kV un zemākam spriegumam. 110 kV un augstākam spriegumam drošinātājus neražo, tādēļ spriegummaiņus uzstāda bez drošinātājiem primārā ķēdē. Lielākā atšķirība no strāvmaiņa ir tāda, ka spriegummaiņa normālais darba režīms ir tuvs tukšgaitai.

### 4.2.1. Spriegummaiņa galvenie raksturlielumi

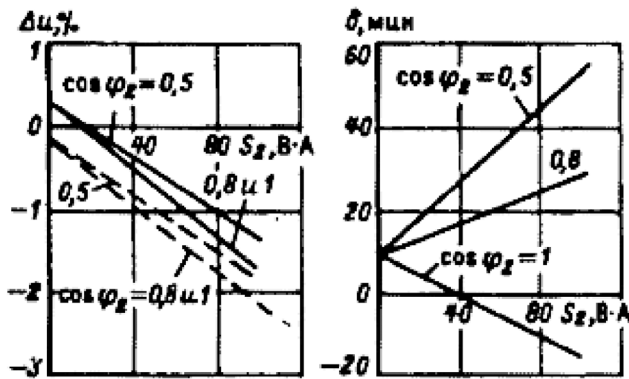
Kā galvenais raksturlielums ir nominālais primārā tinuma spriegums  $U_{N1}$  un nominālais sekundārā tinuma spriegums  $U_{N2}$ . Šo spriegumu attiecību sauc par transformācijas koeficientu ( $K_{U,N}$ )

$$K_{U,N} = U_{N1} / U_{N2}$$

Sprieguma kļūda ( $\Delta U$ ) rodas magnētserdē magnētiskās plūsmas izkliedes rezultātā, un to izsaka procentos.

$$\Delta U = \frac{U_2 K_{U,N} - U_1}{U_1} \cdot 100$$

Tāpat kā strāvmainim, arī spriegummainim sekundārā sprieguma vektors ir nobīdīts aptuveni par  $180^\circ$  attiecībā pret primārā sprieguma vektoru. Šo leņķi sauc par leņķa kļūda  $\delta_U$ . Kļūda ir atkarīga no magnētvara konstrukcijas, magnētiskajām īpašībām un no  $\cos \varphi_2$ , tātad no sekundārās ķēdes slodzes. Kļūdu samazināšanai izmanto divas metodes. Viena no metodēm ir vijumu korekcija. Šajā gadījumā izgatavotājrūpnīca samazina primāro tinumu tik daudz, lai kļūdas tukšgaitā un pie nominālās slodzes būtu aptuveni vienādas pēc vērtības, bet pretējas pēc zīmes. Leņķa kļūdu tas neiespaido, to var samazināt, izmantojot kompensācijas tinumu. Otra metode ir slodzes strāvas samazināšana. To plaši izmanto praksē, lai spriegummainim nodrošinātu nepieciešamo precizitātes klasi. 4.2.2. att. ir parādīta spriegummaiņa sprieguma un leņķa kļūdas atkarība no primārā vijumu skaita korekcijas un atkarība no relatīvās sekundārās slodzes. Ar nepārtrauktu līniju parādīta kļūdu samazināšana ar vijumu skaitu korekciju. Pārtrauktās līnijas ir bez vijumu skaita korekcijas.



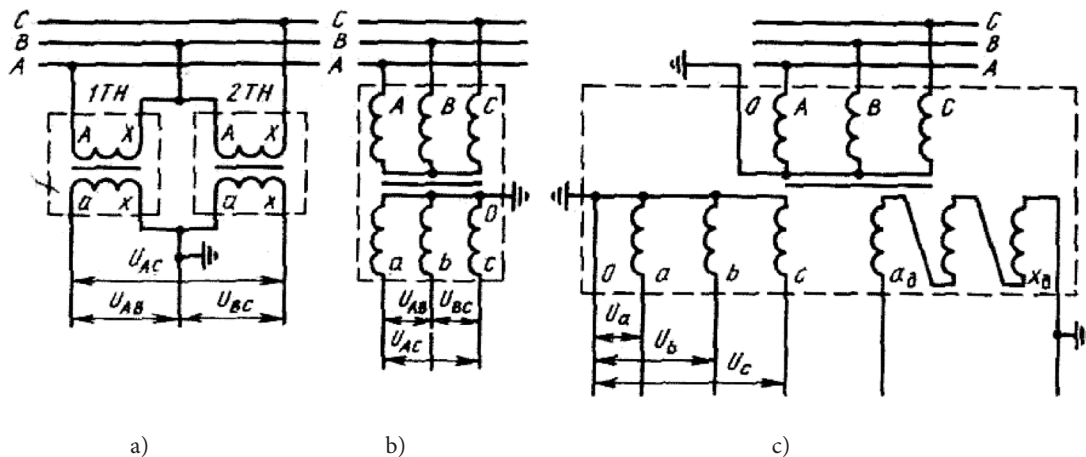
4.2.2. att. Spriegummaiņa sprieguma ( $\Delta U$ ) un leņķa ( $\delta$ ) kļūdas atkarībā no primārā vijumu skaita korekcijas un atkarībā no relatīvās sekundārās slodzes.

Kopīgā pieslēgtā sekundārā tinuma slodze nedrīkst pārsniegt spriegummaiņa nominālo slodzi, jo tas radīs palielinātu kļūdu. Līdzīgi strāvmaiņiem, arī spriegummaiņus izmanto atbilstoši to *precizitātes klasei*, ko izsaka procentos:

- 0,2 precizitātes klasi izmanto precīziem laboratorijas un kontroles mērījumiem, kā arī par etalonu citu spriegummaiņu pārbaudei,
- 0,5 precizitātes klasi izmanto komercskaitītāju pieslēgšanai un mērinstrumentu (ar precizitātes klasi 1 un 1,5) barošanai,
- 1 precizitātes klasi izmanto mērinstrumentu ar precizitātes klasi 2,5 barošanai,
- 3 precizitātes klasi izmanto releju aizsardzības, automātikas, signālpuldžu un citu slodžu, kam nav augstas precizitātes klases prasības, barošanai.

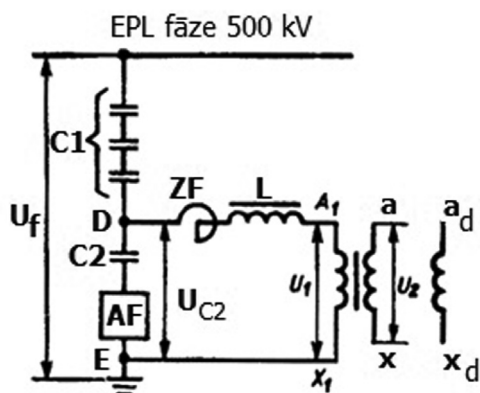
#### 4.2.2. Spriegummaiņa pievienojuma shēmas

Atkarībā no uzdevuma un spriegumiem, spriegummainim var būt dažādas tinumu savienojumu shēmas. Lai izmērītu visus trīs starpfāzes spriegumus, var izmantot divus vienfāzes divtinuma spriegummaiņus, kur tinumi savienoti pēc nepilnās trīsstūra shēmas (4.2.3. att. a), kā arī var izmantot vienu trīsfāžu divtinumu spriegummaini, kur tinumi savienoti zvaigznē (4.2.3. att. b).



4.2.3. att. Spriegummaiņu tinumu savienošanas shēmas: a – divi vienfāzes spriegummaiņi; b – trīsfāžu spriegummainis; c – divi sekundārie tinumi.

4.2.3. att. c ir parādīts spriegummainis ar diviem sekundāriem tinumiem. Pie tinuma, kas savienots zvaigznē, ir pieslēgti mēraparāti, bet tinumam, kas savienots nepilnā trīsstūrī, ir pieslēgta releju aizsardzība. Trīsfāzu spriegummaiņus ražo līdz 18 kV. Lielākam spriegumam izmanto vienfāzes spriegummaiņus. Iepriekš apskatītie piemēri ir tiešā pievienojuma spriegummaiņi. Augstākiem spriegumiem un superaugstiem spriegumiem izmanto *kapacitatīvos spriegummaiņus*. Sakarā ar to, ka spriegummaiņi pārvada ļoti mazu jaudu, tad svarīgākā nozīme ir izolācijas nodrošināšanai starp primāro un sekundāro tinumu. Pie augstiem spriegumiem tas ļoti sadārdzina iekārtu. Tāpēc, piemēram, pie 500 kV sprieguma izmanto kapacitatīvos spriegummaiņus, kur primāro tinumu baro no kapacitatīvā sprieguma dalītāja ar spriegumu 10 – 15 kV. Dalītājs sastāv no augstfrekvences sakaru kondensatoriem  $C_1$  un  $C_2$  (4.2.4. att.).



4.2.4. att. Kapacitatīvā spriegummaiņa principslēma.

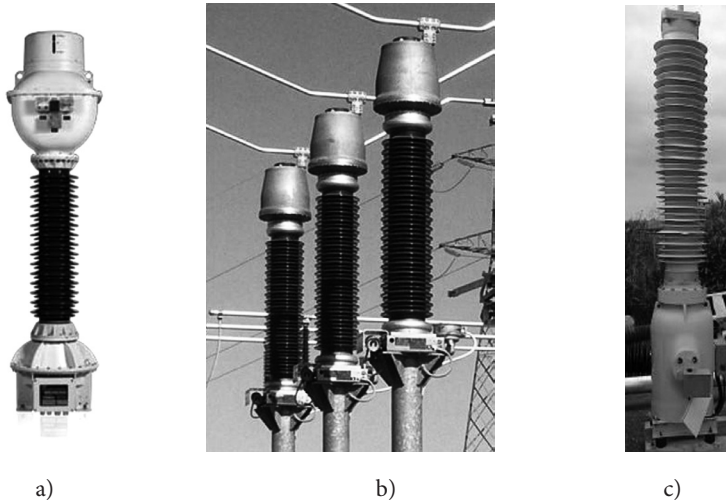
Dalīšanas principu veic jaudas noņemšanas kondensatoram  $C_2$ , kuram virknē ir ieslēgta augstfrekvences sakaru iekārta AF. Lai augstfrekvences strāva nenokļūtu spriegummaiņa ķēdē, ierīkots sprostfiltrs ZF. Drosele L kalpo sprieguma krituma samazināšanai kondensatorā  $C_1$ , un tā ir ieregulēta rezonansē ar  $C_1$ .

Spriegummaiņa piemērs:



4.2.5. att. SF6 spriegummainis, tips: SVS (72.5 – 800 kV), ražotājs: Trench (Siemens Group).

4.2.5. att. ir dots 72.5 – 800 kV spriegummainis. Visiem spriegummaiņiem apakšējā daļā atrodas aktīvie elementi, kas ievietoti metāla korpusā, uz kura ir plāksnīte ar pasē datiem un vietu izvadiem.



4.2.6. att. Spriegummaiņi 110 kV, 72.5 – 245 kV un 72.5 – 420 kV:

*a – JUK 123a, ražotājs: ABB; b – SF6 spriegummainis, tips: TVG (72.5 – 245 kV), ražotājs: Trench (Siemens Group); c – SF6 spriegummainis, tips: TVI (72.5 – 420 kV), ražotājs: ABB.*

### 4.2.3. Spriegummaiņu izvēle

- Pēc spriegummaiņu skaita un slēguma shēmas;
- Pēc nominālā sprieguma.

$$U_N = U_{\text{tikl.}}$$

- Pēc nominālās sekundārā tinuma jaudas atbilstoši precizitātes klasei.

$$S_{sN} \geq S_{2apl.}$$

- Pēc spriegummaiņu uzstādīšanas vietas.
- Pēc spriegummaiņa uzbūves un izolācijas veida.

Spriegummaiņiem, tāpat kā strāvmaiņiem, savienojošo vadu minimālais šķērsgriezums no mehāniskā viedokļa ir: kapara vadiem – 1,5 mm<sup>2</sup>; alumīnija vadiem – 2,5 mm<sup>2</sup>.



#### 4.3. JAUTĀJUMI PAŠKONTROLEI

1. Kas ir strāvmainis, kāds ir tā darbības princips?
2. Kas ir spriegummainis, kāds ir tā darbības princips?
3. Kādas ir atšķirības starp strāvmaini un spriegummaini?
4. Kas notiks, ja darbā esošam strāvmainim atvienos sekundāros izvadus?
5. Kas ir strāvmaiņa transformācijas koeficients?
6. Ko nozīmē strāvmaiņu kļūda?
7. Pēc kādiem raksturlielumiem izvēlas strāvmaini?
8. Kādi ir spriegummaiņa galvenie raksturlielumi?
9. Kāds ir kapacitatīvā spriegummaiņa darbības princips?

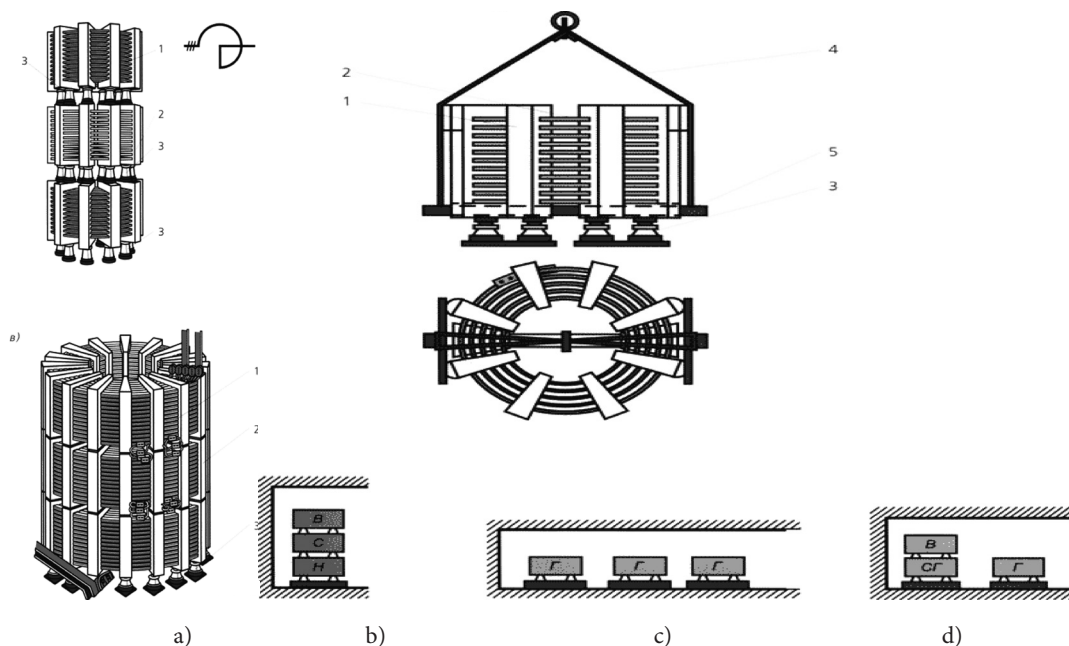
## 5. REAKTORI

Reaktori ir paredzēti īsslēguma strāvas ierobežošanai. Tiem ir ļoti vienkārša konstrukcija. Pēc būtības reaktors ir vienfāzīga induktīva spole, kura ir slēgta virknē, primārās strāvas ķēdē. Reaktoram ir liela induktīvā pretestība un maza aktīvā pretestība, līdz ar to īsslēguma strāva, izejot cauri reaktoram, ievērojami samazinās. Ja elektriskajā tīklā rodas reaktīvās jaudas pārpalikums, un spriegums sasniedz maksimālās vērtības, reaktors normalizē tīkla režīmu.

### 5.1. REAKTORU KLASIFIKĀCIJA

Reaktorus klasificē pēc sekojošām pazīmēm: pēc izvadu skaita, pēc feromagnētiskās serdes esamības, pēc izolācijas veida, pēc funkcionālās nozīmes.

*Pēc izvadu skaita.* Vienkāršiem reaktoriem ir viena spole un divi izvadi. 6 kV un 10 kV elektriskā tīklā lieto *betona reaktorus* (5.1.1. att. a). Katrā fāzē ir bezserdes spole ar diviem izvadiem. Tinums ir uztīts uz šablona un iebetonēts betona kolonnās. Tas neļauj vadiem deformēties, kad cauri plūst īsslēgumu strāvas. Spoles vai citiem vārdiem – fāzes var būt novietotas vertikāli viena uz otras (5.1.1. att. b), atsevišķi horizontāli (5.1.1. att. c), vai divas vertikāli viena uz otras un viena atsevišķi (5.1.1. att. d).



5.1.1. att. Betona reaktors:

*a – kopskats, 1 – betona kolonna, 2 – spole, 3 – izolatori; b – vertikālais fāzes izvietojums; c – horizontālais fāzes izvietojums; d – pakāpjveida fāzes izvietojums.*

Dubultreaktori ir līdzīgi vienkāršiem reaktoriem, tikai katrā fāzē ir divi tinumi ar kopīgu trešo izvadu, kas atrodas tinumiem pa vidu. To izmanto, lai efektīvāk ierobežotu strāvu īsslēguma režīmā un samazinātu sprieguma zudumus.

*Pēc feromagnētiskās serdes esamības.* Ar serdi izmanto sistēmās 24 kV robežās, TO pamatpielietojums ir rūpniecībā (kā izlīdzinošie, šunta, harmonikas filtrēšanas u.c. reaktori).

*Pēc izolācijas veida* iedalās ar eļļas izolāciju (5.1.2. att. a), tie paredzēti augstākam spriegumam; un ar sauso izolāciju (5.1.2. att. b), kuri paredzēti zemākam spriegumam. 5.1.2. att. kā vizuāls piemērs ir doti Siemens firmas divu tipu reaktori.



a)

b)

5.1.2. att. Siemens firmas reaktori: a – VSR tipa ar eļļas izolāciju;  
b – HVDC tipa ar sauso izolāciju.

Pēc funkcionālās nozīmes: līnijreaktorus slēdz līnijā virknē ar slodzi, sekcijreaktorus ieslēdz elektrostacijās starp ģenerators sprieguma kopņu sekcijām, zemētājreaktorus slēdz transformatora neitrālē.

Autotransformatoriem reaktorus pieslēdz trešajam magnētiski nesaistītajam 10 kV tinumam kā mākslīgus reaktīvās jaudas patērētājus. Tos pieslēdz ar jaudas slēdža palīdzību. Normālos tīkla režīmos tie ir atslēgti, bet reaktīvās jaudas pārpalikumu stundās, spriegumam sasniedzot maksimālo vērtību, reaktorus ieslēdz, tādējādi normalizējot tīkla režīmu.

## 5.2. LĪNIJREAKTORU IZVĒLE

Līnijreaktorus uzstāda barošanas centros aizejošo līniju sākumā īsslēguma strāvas ierobežošanai. Izvēlas pēc sekojošiem kritērijiem:

- Nominālajam spriegumam jābūt lielākam vai vienādam ar tīkla nominālo spriegumu

$$U_{Nt} \geq U_{N\text{ tīkl.}}$$

- Nominālajai strāvai ir jābūt lielākai vai vienāgai ar aplēses strāvu

$$I_{Nr} \geq I_{apl.}$$

- Sprieguma zudumam reaktorā –  $\Delta U_r$  jābūt mazākam vai vienādam ar pieļaujamo sprieguma zudumu reaktorā –  $\Delta U_{r\text{ piel.}}$

$$\Delta U_{r\text{ piel.}} \geq \Delta U_r$$

- Reaktora pretestībai –  $X_r$  jābūt lielākai vai vienāgai ar pieļaujamo pretestību –  $X_{r\text{ piel.}}$

$$X_r \geq X_{r\text{ piel.}}$$

- Elektrodinamiskajai izturībai –  $i_{dyn}$  ir jābūt lielākai vai vienāgai ar trīsfāžu triecienstrāvu, kas notiek tūlīt aiz reaktora  $i_{tr}$

$$i_{dyn} \geq i_{tr}$$

- Pārbaude pēc termiskās izturības

$$I_{th}^2 t_{th} \geq B_k$$

kur:  $I_{th}^2 t_{th}$  – izgatavotājrūpnīcas garantētais siltuma impulss, ko aparāts spēj izturēt,  $B_k$  – aplēses siltuma impulss aparāta uzstādīšanas vietā.

- Pēc paliekošā sprieguma pirms reaktora –  $U_{pal.}$ , ja īsslēgums noticis aiz tā

$$U_{pal.} \geq 0,6 U_{N\text{ tīkl.}}$$

### 5.3. JAUTĀJUMI PAŠKONTROLEI

1. Kādām vajadzībām paredzēts reaktors un kur to pieslēdz?
2. Pēc kādiem parametriem tiek klasificēti reaktori?
3. Pēc kādiem parametriem izvēlas reaktorus?

## 6. JAUDAS SLĒDŽI

Jaudas slēdži ir augstsprieguma elektriskie aparāti, kas var gan komutēt tukšgaitas un slodzes strāvas, gan avārijas gadījumā atslēgt īsslēguma strāvas. Automātisku vadību nodrošina releju aizsardzības ķēdes. Komutācijas operācijas var veikt arī rokas režīmā. Jaudas slēdžus uzstāda elektrisko pārvades līniju sākumā. Tie ir pietiekami dārgi un sarežģīti elektriskie aparāti, tāpēc elektrisko tīklu dalījumu vietās uzstāda slodzes slēdžus, atdalītājus un nodalītājus, kurus apskatīsim turpmākajās nodaļās.

Jaudas slēdžus var klasificēt pēc sekojošām īpašībām:

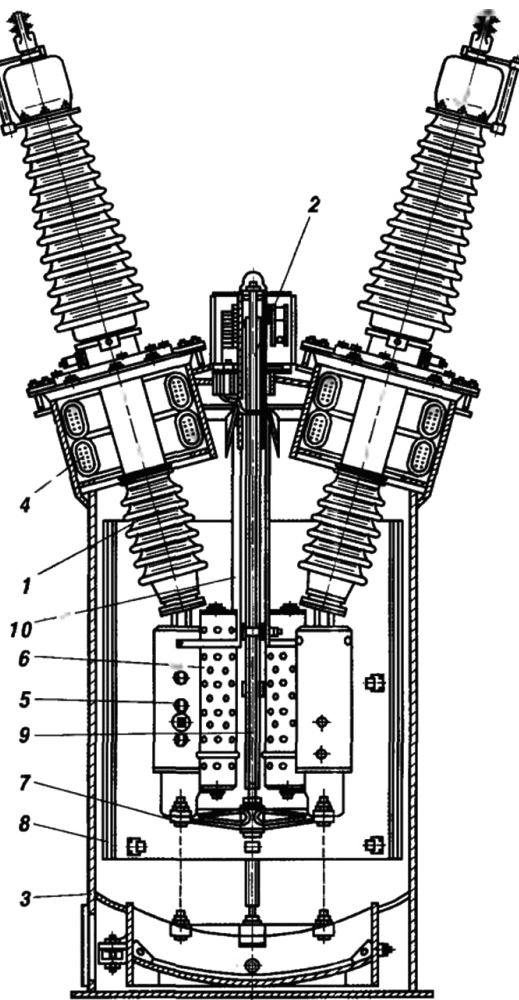
- Uzstādīšanas vieta (brīvgaisa vai slēgtās sadalietaisēs);
- Pēc elektriskā loka dzēšanas veida (eļļas, gaisa, elegāzes, vakuuma, elektromagnētiskie);
- Pēc konstruktīvās polu uzbūves (trīspolu kopīgā korpusā, vai trīs atsevišķi vienkārtēji jaudas slēdži);
- Piedziņas veida (atsevišķa, vai iebūvēta).

Tālāk apskatīsim vairākus jaudas slēdžu tipus atkarībā no elektriskā loka dzēšanas veida. Atbilstoši šim kritērijam tie ir ieguvuši savu nosaukumu (eļļas slēdži, gaisa slēdži, elegāzes slēdži).

### 6.1. EĻĻAS SLĒDŽI

Iedala *lieltīluma* un *mazīluma*. Lieltīluma eļļas slēdžus praksē sen jau kā nepielieto. To konstrukcija un masa bija liela, jo eļļa kalpoja gan loka dzēšanai, gan izolācijai fāžu starpā un starp fāzēm un zemi. 110 kV **Y-110** tipa slēdzis griezumā ir redzams 6.1. att..

$$I_{atsl. nom} = 50 \text{ kA.}$$



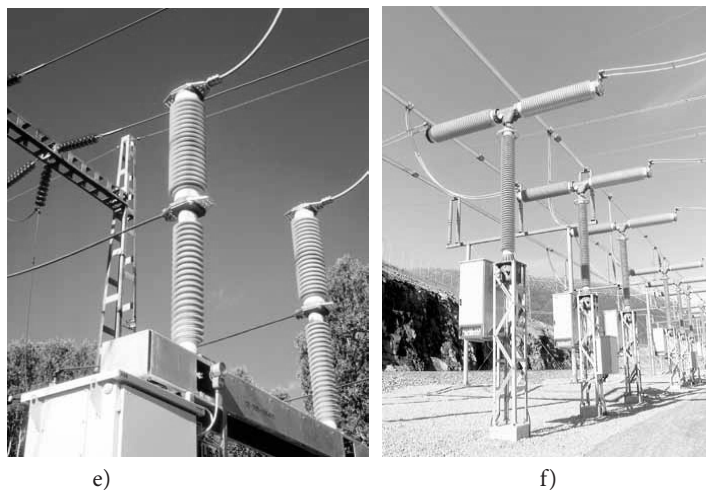
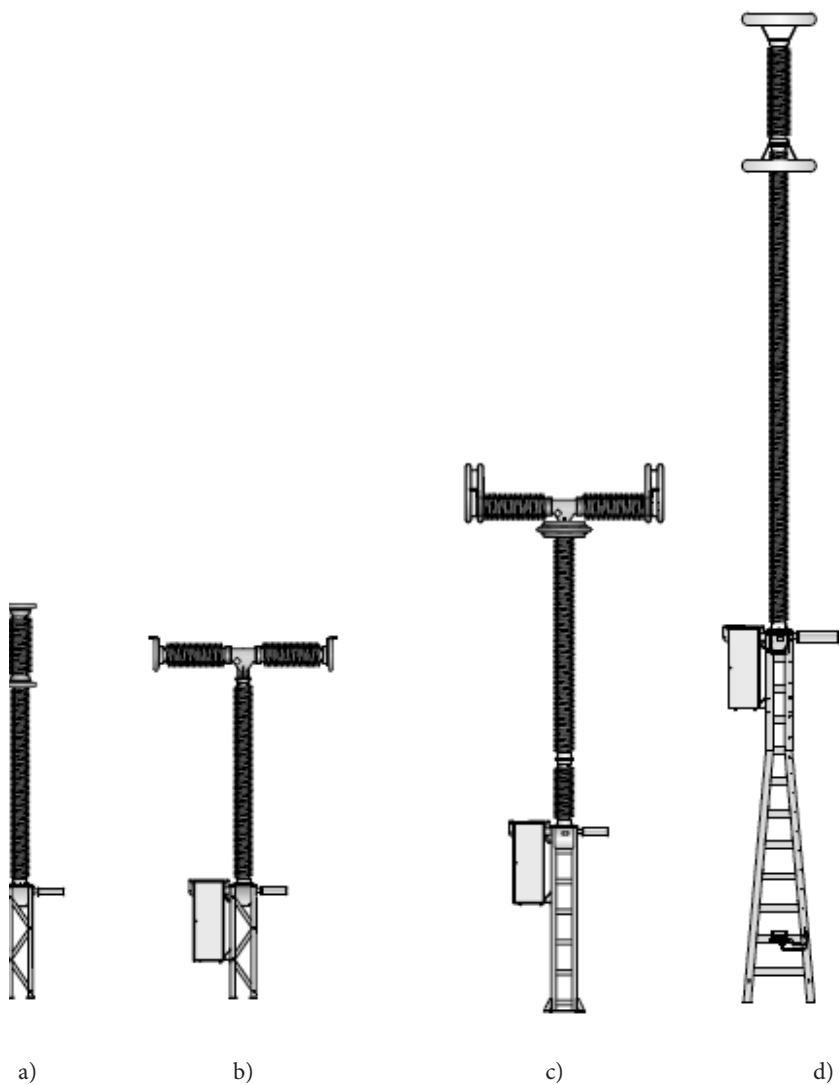
6.1. att. Y-110 tipa lieltilpuma jaudas slēdzis:

1 – ievads, 2 – mehānisms, 3 – eļļas tvertne, 4 – strāvmainis, 5 – dzēškamera, 6 – šuntējais rezistors, 7 – traversa, 8 – sānu izolācija, 9 – stienis, 10 – vadības iekārta.

To vietā nāca maztilpuma jaudas slēdži (BMK un BMT sērijas slēdži). Šajos slēdžos eļļa pilda tikai lokdzēšanas funkciju, bet izolāciju starp fāzēm, kā arī starp fāzēm un zemi veido cietie dielektriķi. Salīdzinoši, ja lieltilpuma jaudas slēdzim vajadzēja 27 t eļļu, tad maztilpuma jaudas slēdzim uz polu vajag tikai dažus kg eļļas. Arī eļļas kvalitātei ir zemākas prasības, jo tās tīrībai dzēšanas procesā nav izšķirošas nozīmes. Šādus slēdžus izgatavoja spriegumam līdz 110 kV. Kā trūkums jāmin, ka tie ir sprādziennedroši un ugunsnedroši. Arī atslēgšanas spēja maztilpuma jaudas slēdžiem ir neliela un sakarā ar atviegloto konstrukciju, šiem slēdžiem ir apgrūtināta stacionāru strāvmaiņu iebūve, kā rezultātā tie ir bez iebūvētiem strāvmaiņiem. Latvijā 110 kV tīklos tika uzstādīti Zviedrijas firmas ASEA maztilpuma HLD sērijas jaudas slēdži. Tas ir brīvgaiss slēdzis ar elektrodzinēju atspēru uzvilkšanai. Automātiskā avārijas izslēgšana var būt atšķirīga vai kopīga visiem trim poliem. 110 kV līnijām automātiskā avārijas atslēgšana darbojas katram polam atsevišķi. Eksploatācijā šie slēdži ir darbojušies droši, atslēgšanas spēja  $I_{\text{atsl. nom}} = 25 \text{ kA}$ . Revīzija ir jāizdara pēc 500 nominālās strāvas, vai 3 isslēguma strāvas atslēgšanas reizēm. Izgatavotājrūpnīcas garantētais darba mūžs ir 25 gadi. Divdesmitā gadsimta astoņdesmitajos gados Latvijā 110 kV tīklos sāka uzstādīt Bulgārijā ražotus maztilpuma jaudas slēdžus. Tas arī ir brīvgaiss slēdzis ar elektrodzinēju atspēru uzvilkšanai. Lielākā atšķirība ir tāda, ka atslēgšanas procesā katrā polā tiek radīti divi pārtraukumi, un katram polam ir divas dzēškameras, kuras savstarpēji izvietotas  $60^\circ$  leņķī. Atslēgšanas spēja  $I_{\text{atsl. nom}} = 31,5 \text{ kA}$ . Eksploatācijas laiks ir 25 gadi.

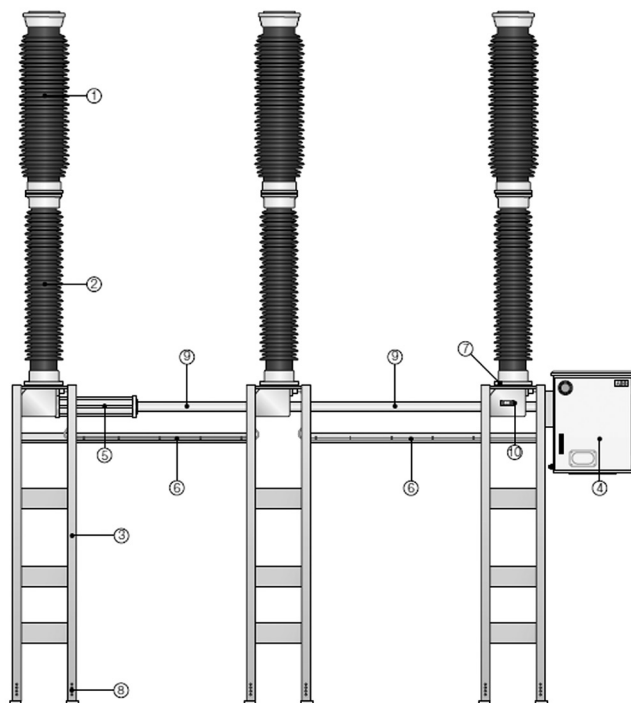
## 6.2.ELEGĀZES JAUDAS SLĒDŽI

Elegāzes jaudas slēdžiem elektriskā loka dzēšanai tiek izmantota elegāze ( $FS_6$ ). Šobrīd pasaules elektriskajās sistēmās virsroku ir guvuši elegāzes un vakuuma slēdži. Pamatā elegāzes jaudas slēdžus izmanto pārvades tīklos. Slēdžu darbības principi ir dažādi. Visbiežāk izmanto *autokompresiju*, kad loka dzēšanas momentā elegāze tiek saspiesta un izpūsta loka dzēšanas kamerā. Otrs darbības princips ir *autoģenerācija*, kad vajadzīgais elegāzes spiediens tiek panākts ar temperatūras paaugstinājumu, izmantojot loka izdalīto enerģiju. Trešais darbības princips ir *magnētiskais lauks*, kad ar magnētiskā lauka palīdzību panāk loka rotēšanu, kas sekmē loka dzēšanu. Slēdžus būvē, izmantojot moduļu principu. Galvenās sastāvdaļas ir loka dzēšanas kamera, izolatori, darbinātāji un kondensatori vienmērīgai sprieguma sadalīšanai starp dzēškamerām un rezistori pārsprieguma samazināšanai. 110 kV spriegumam slēdžu fāzes novieto uz kopējas pamatkonstrukcijas. Darbinātāja veidi var būt atšķirīgi. Tie var būt kopēji, kā arī atsevišķi pa fāzēm. Augstākiem spriegumiem katra fāze ir uz atsevišķas pamatnes un ar atsevišķu darbinātāju. Elegāze (sēra heksafluorīds  $F_6$ ) ir ķīmiski stabila, neuzliesmojoša, neindīga, bezkrāsaina gāze bez smaržas. Tas ir labs dielektriķis. Salīdzinot ar gaisu, pie vienādiem apstākļiem, dielektriskā stiprība ir divas reizes lielāka, bet, salīdzinot ar eļļu, pie trīs atmosfēru spiediena tās ir vienādas. Var lietot plašā temperatūras diapazonā un labi dzēš elektrisko loku. Pie augstām temperatūrām (3000 °C) elegāze sāk sadalīties sēra un floras jonos, bet temperatūrai kritoties (1000 °C) gandrīz pilnībā rekombinējas. Atlikusī daļa, reaģējot ar slāpekli un metāliem, veidos strāvu nevadošu pulveri, kas nosēdīsies elegāzes slēdža daļās. ABB firmas ražoto LTB un HPL dažādu spriegumu elegāzes jaudas slēdžu ārējais izskats parādīts 6.2. att..



6.2. att. ABB ražotie LTB 1 (a; b; c) un HPL 1 (d) elegāzes jaudas slēdži: a – LTB 1/170/660E1, b – LTB 1/170/660E2, c – LTB 1/246/800E2, d – HPL 1/246/1100B1, e – LTB 1/170/660E1, f – LTB 1/170/660E1 fotogrāfijās.





6.3. att. ABB ražotais LTB D tipa jaudas slēdža kopskats: 1 – dzēšanas kamera, 2 – balsta izolators, 3 – balsta konstrukcija, 4 – BLK tipa izpildmehānisms, 5 – atspere apvalkā, 6 – gāzes caurule, 7 – gāzes kontrole (no otras puses), 8 – caurumi stiprināšanai pie pamatnes, 9 – vilcējstienis aizsargājošā apvalkā, 10 – stāvokļa indikators.

ABB elegāzes jaudas slēdža LTB D galvenās sastāvdaļas redzamas 6.3. att.. Šis slēdzis paredzēts spriegumam no 72,5 kV līdz 170 kV un spēj atslēgt īsslēguma strāvas līdz 40 kA. Slēdzim var būt vienpolīga vadība vai trīspolīga vadība. Elegāzes jaudas slēdžiem ir ievērojamas priekšrocības, salīdzinot ar eļļas slēdžiem un gaisa slēdžiem, un galvenās ir:

- Sprādziendrošība un uguns drošība;
- Mazāka masa un gabarīti;
- Nav vajadzīga eļļas vai saspīestā gaisa saimniecība;
- Atslēgšanas process notiek bez trokšņa.

Kā negatīvos momentus var minēt:

- Nepieciešama elegāzes iegūšana un attīrīšana;
- Vajadzīgi kvalitatīvi blīvējumi, lai nerastos elegāzes noplūde.

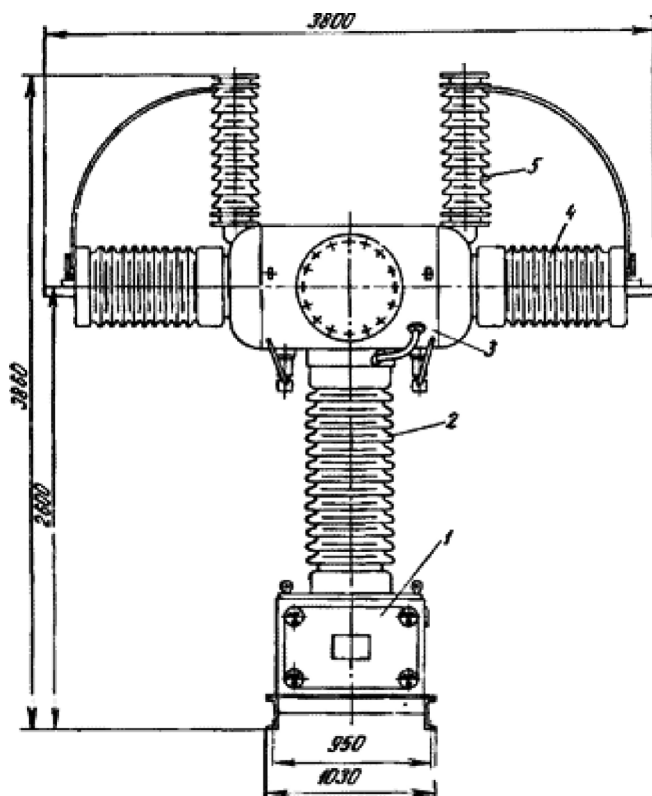
Vēl viena svarīga nianse. Elegāze pati par sevi nav indīga, bet, ja rodas noplūde un augstas temperatūras iespaidā tā reaģē ar mitru gaisu, veidojas toksiskas gāzes, kuru smarža ir viegli atpazīstama, tā līdzinās puvušu olu smakai. Sajūtot šādu smaku, nekavējoši jāatstāj telpa (vieta) un jānodrošina visi drošības pasākumi tālāku darbību veikšanai. Radusies toksiskā gāze, kas var būt kopā ar rekombinēšanās procesā radušos smalko pulveri, ir bīstama cilvēka veselībai un dzīvībai.

### 6.3. VAKUUMSLĒDŽI UN ELEKTROMAGNĒTISKIE JAUDAS SLĒDŽI

Vakuumslēdžiem kontaktu sistēma ir ievietota vakuuma telpā. Vakuums nodrošina to, ka gāzu molekulām nav ierobežots brīvā ceļa garums un kontaktspraugā nepastāv triecienjonizācija un neveidojas patstāvīga izlāde. Problemātiskākā vieta ir paši kontakti, kas pastiprināti noārdās, palielinoties strāvas blīvumam. Kontaktspraugai ir liela elektriskā izturība, un tāpēc attālums starp kontaktiem ir neliels. Sakarā ar iepriekš minēto, vakuuma jaudas slēdžus pamatā pielieto sadales tīklos un šajā kursā tos sīkāk neapskatīsim. Arī elektromagnētisko jaudas slēdžu pielietojums ir sadales tīkli. Loka dzēšana pamatojas uz loka pretestības pieaugumu tā pagarināšanas rezultātā. Sīkāk šajā kursā tos neapskatīsim.

## 6.4. GAISA SLĒDŽI

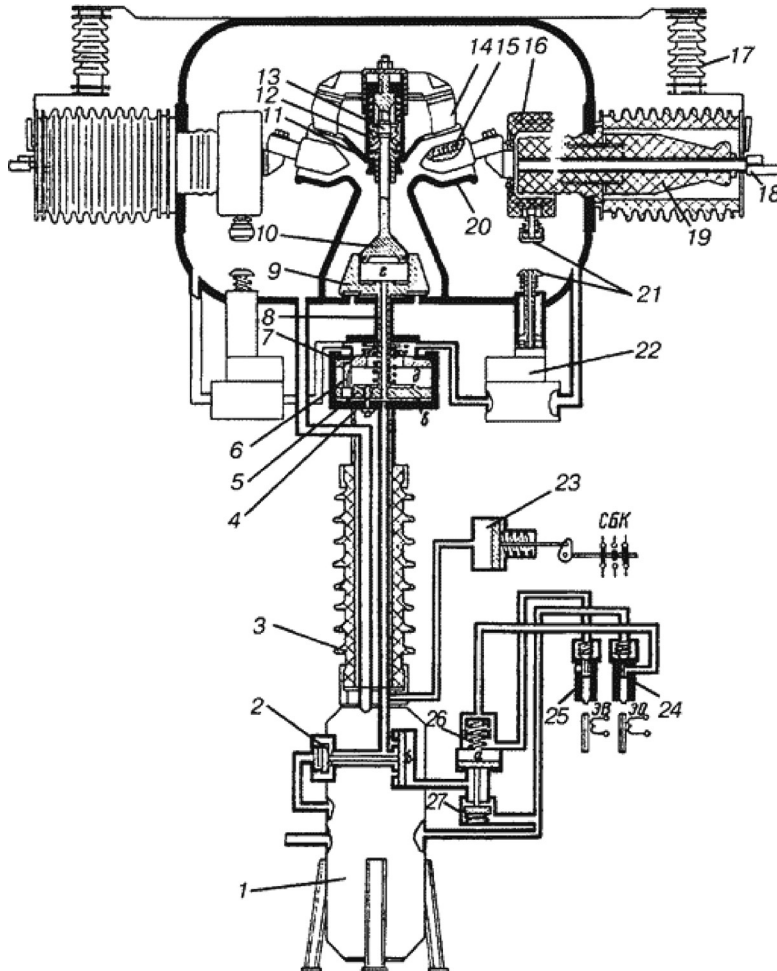
Tos sauc arī par saspiesta gaisa jaudas slēdžiem. Šajos slēdžos loka dzēšanai un mehānismu darbināšanai izmanto saspiegtu gaisu. Strāvu vadošās daļas izgatavo no porcelāna vai cita dielektriska materiāla. Slēdžos lietojamajam gaisam normē divus parametrus. Tas ir spiediens, ko mēra megapaskālos (MPa) un relatīvais gaisa mitrums %. Spiediens ir robežās no 2 – 4 MPa, bet relatīvais pieļaujamais gaisa mitrums ir atkarīgs no temperatūras, un tas tiek normēts. Ja relatīvais gaisa mitrums pārsniedz normatīvos lielumus, var rasties kondensāts un tas savukārt var izraisīt pārklāšanos jaudas slēdžī vai gaisvadu aizsalšanu ziemā. Lai no tā izvairītos, izmanto pievadāmā gaisa žāvēšanu. Visbiežāk to veic ar elektrodinamisko paņēmieni. Princips ir tāds, ka sākumā gaisu saspiež līdz divreiz lielākam spiedienam, nekā darba spiediens, tādā veidā samazinot tā tilpumu, un, pirms padošanas uz jaudas slēdži, tā spiedienu samazina līdz vajadzīgajam. Otra gaisa žāvēšanas metode ir ķīmiskā, kad gaisu laiž caur speciāliem absorbentiem. Papildus visiem gaisa slēdžiem pie neliela spiediena tiek veikta visu iekšējo virsmu caurpūšana ar sauso rezervuāra gaisu. Tādā veidā iekšējās virsmas cauruļvadiem, dzēškamerām un pārējām virsmām tiek uzturētas sausas. Gaisa slēdžu konstrukciju shēmas ir dažādas. Tās ir atkarīgas no nominālā sprieguma, no veida, kā veidojas izolējošā gaisa sprauga starp atslēgtiem kontaktiem, un no veida, kā saspiestais gaiss tiek padots uz dzēškameru. Slēdžiem ar lielām nominālām strāvām ir divi kontūri: galvenais un lokdzēses kontūrs. Kā piemēru apskatīsim BBB tipa gaisa slēdzi (7.4. att.).



7.4. att. BBB tipa gaisa slēdža viens pols:

1 – vadības skapis, 2 – dobs balsta izolators, 3 – metāla dzēškamera, 4 – ievadizolatori, 5 – kapacitīvais sprieguma dalītājs.

Tie ir paredzēti brīvgaisa sadalnēs spriegumam no 110 kV – 750 kV. Kontakta sistēma kopā ar mehānisko sistēmu atrodas metāliskā kamerā, kas piepildīta ar saspiestu gaisu un izolēta no zemes ar balsta izolatoru. Gaisa slēdža BBE – 110 šķērsriezums parādīts 7.5. att..



7.5. att. BBE – 110 gaisa slēdzis:

1 – pamata resivers; 2 – vārsts; 3 – balsta izolators; 4 – adata; 5 – virzulis; 6 – sadalītājs; 7 – noslēdzošais gredzens; 8 – stienis; 9 – trauks gaisa iepūšanas vārstam; 10 – virzulis; 11 – pretējās darbības elektrods; 12 – fiksators; 13 – stienis; 14 – kustīgo kontaktu naži; 15 – nekustīgie kontakti; 16 – šuntējošā pretestība; 17 – kapacitatīvais sprieguma dalītājs; 18 – ievads; 19 – epoksīda bukse; 20 – metālais jāucējs; 21 – palīgkontakti; 22 – vārsts; 23 – pievada virzulis; 24, 25 – iedarbināšanas vārsti; 26 – atpakaļgaitas vārsts; 27 – starpposmu vārsts.

Izolatora iekšpusē ir divas stiklplasta gaisa caurules. Viena kalpo caurplūšanai, bet otra impulsveida saspiesta gaisa padevei pie atslēgšanas un liekā gaisa novadīšanai pie ieslēgšanas. Lokdzēšanas kamerā ir divas galvenā kontakta un divas papildus kontakta pārtraukšanas zonas. Galvenie kontakti atslēdz elektrisko ķēdi. Rezistori, kas slēgti starp kontaktiem, izlīdzina spriegumu. Tālāk papildus kontakti atslēdz strāvu, kas noslēdzas caur rezistoriem. Kameras abos galos ir epoksīdā iestrādāti ievadi, kas no ārpusē aizsargāti ar porcelāna vākiem, kuri ventilējas tāpat kā balsta izolatori. Gar šiem vākiem, caur caurplūšanas uzrādītājiem, ventilējošais gaiss izplūst ārpusē. Jaudas slēdži virs 110 kV tiek komplektēti no 110 kV sprieguma moduļiem. 220 kV spriegumam izmanto divus vienu virs otra novietotus moduļus, bet 330 kV spriegumam izmanto četrus moduļus.

Salīdzinot ar eļļas slēdžiem, gaisa slēdžiem ir sekojošas priekšrocības:

- Lielāka sprādziendrošība un ugunsdrošība;
- Lielāka ātrdarbība;
- Iespējams veidot moduļus dažādiem spriegumiem;
- Mazāka masa un izmēri;
- Mazāks loka dzēšanas kontaktu nodilums.

Kā trūkumus var minēt:

- Nepieciešamas saspiestā gaisa iekārtas;
- Pietiekami sarežģīta slēdžu konstrukcija;
- Lielākas izmaksas;
- Grūti ierīkot iebūvētos strāvmaiņus.

Galvenā gaisa slēdžu pielietošanas joma ir 330 kV – 1150 kV sprieguma līnijas.

## 6.5. JAUDAS SLĒDŽU IZVĒLE

Jaudas slēdžus izvēlas pēc sekojošiem kritērijiem:

- Pēc uzstādīšanas vietas – brīvgaisa vai ārtipa, piedziņas veids, konstruktīvais izveidojums;
- Jaudas slēdža nominālajam spriegumam jābūt lielākam vai vienādam ar elektriskā tīkla nominālo spriegumu

$$U_N \geq U_{N \text{ tīkl.}}$$

- Pēc silšanas ilgstošā režīmā jaudas slēdža nominālajai darba strāvai jābūt lielākai vai vienāgai ar aplēses strāvu

$$I_N \geq I_{apl.}$$

- Pēc atslēgšanas spējas. Šo pārbaudi veic pēc diviem lielumiem, izmantojot katalogus:

- Jaudas slēdža nominālā atslēgšanās strāva (norādīta izgatavotājrūpnīcas katalogā)

$$I_{N \text{ atsl.}} \geq I_p \tau, \text{ kur}$$

$I_{N \text{ atsl.}}$  – īsslēguma strāvas periodiskās komponentes pieļaujamā efektīvā vērtība loka dzēšanas kontaktu pārtraukšanas momentā  $\tau$

$I_p \tau$  – faktiskā īsslēguma strāvas periodiskās komponentes pieļaujamā efektīvā vērtība loka dzēšanas kontaktu pārtraukšanas momentā  $\tau$

$\tau$  – sastāv no releja aizsardzības nostrādes minimālā laika un jaudas slēdža nostrādes paslaika, kas dots izgatavotājrūpnīcas katalogā.

- Jaudas slēdža nominālā pieļaujamās atslēgšanās strāvas asimetrijas

$$i_{N \text{ atsl.}} \geq i_{\tau \text{ atsl.}}, \text{ kur}$$

$i_{N \text{ atsl.}}$  – īsslēguma strāvas aperiodiskās komponentes nominālā vērtība laika momentā  $\tau$

$i_{\tau \text{ atsl.}}$  – faktiskās īsslēguma strāvas aperiodiskās komponentes nominālā vērtība laika momentā  $\tau$

$$i_{N \text{ atsl.}} = \frac{\sqrt{2} I_{N \text{ atsl.}} \beta_N}{100}, \text{ kur}$$

$\beta_N$  – pieļaujamās asimetrijas koeficients %, atrod pēc standartā dotām liknēm.

Vēl jaudas slēdžu atslēgšanās spēju var pārbaudīt, izmantojot nominālo atslēgšanas jaudu

$$S_{N \text{ atsl.}} = U_N I_{N \text{ atsl.}}$$

- Pārbauda pēc ieslēgšanas spējas, kas norāda vai jaudas slēdzis spēs ieslēgt īsslēguma strāvas bez kontaktu sametināšanās. To veic pēc diviem kritērijiem:
  - Pārbauda vai ieslēgšanas strāvas pieļaujamā efektīvā vērtība –  $I_{N\text{iesl}}$  ir lielāka vai vienāda ar īsslēguma strāvas periodiskās komponentes pirmā perioda efektīvo vērtību –  $I_{p.o}$ 

$$I_{N\text{iesl}} \geq I_{p.o}$$
  - Pārbauda vai ieslēgšanas strāvas pieļaujamā momentānā –  $I_{N\text{iesl}}$  vērtība ir lielāka vai vienāda ar triecienstrāvas momentāno vērtību slēdža uzstādīšanas vietā –  $i_{tr}$ 

$$i_{N\text{iesl}} \geq i_{tr}, \text{ kur}$$

$$i_{N\text{iesl}} = 2,55 I_{N\text{iesl}}, \text{ attiecību nodrošina izgatavotājrūpnīca, savukārt}$$

$$i_{tr} = K_{tr} \sqrt{2} I_{p.o} \text{ ir saistīta ar triecienstrāvas koeficientu.}$$
- Pārbaudi pēc elektrodinamiskās izturības arī veic pēc diviem nosacījumiem:
  - pēc īsslēguma strāvas – pieļaujamajai normētajai periodiskās caurplūdes strāvas efektīvajai vērtībai –  $I_{dyn}$  jābūt lielākai vai vienādai ar īsslēguma strāvas periodiskās komponentes pirmā perioda efektīvo vērtību –  $I_{p.o}$ .
 
$$I_{dyn} \geq I_{p.o}, \text{ kur}$$

$$I_{dyn} \text{ pamatā tiek izvēlēta vienāda ar } I_{N\text{atsl}}.$$
  - Pēc triecienstrāvas – pieļaujamai normētai periodiskās caurplūdes strāvas momentānai vērtībai –  $I_{dyn}$  jābūt lielākai vai vienādai ar triecienstrāvas momentāno vērtību slēdža uzstādīšanas vietā  $i_{tr}$ .
 
$$i_{dyn} \geq i_{tr}, \text{ kur}$$

arī šajā gadījumā attiecība  $i_{dyn} = 2,55 I_{dyn}$  tiek ievērota pie izgatavošanas.
- Pārbaude pēc termiskās izturības
 
$$I_{th}^2 t_{th} \geq B_k, \text{ kur}$$

$$I_{th}^2 t_{th} - \text{izgatavotājrūpnīcas garantētais siltuma impulss, ko aparāts spēj izturēt,}$$

$$B_k - \text{aplēses siltuma impulss aparāta uzstādīšanas vietā.}$$
- Pēc sprieguma atjaunošanas ātruma – to veic, izmantojot atjaunotā sprieguma līkni.

## 6.6. JAUTĀJUMI PAŠKONTROLEI

1. Kādām vajadzībām paredzēts jaudas slēdzis un kur to uzstāda?
2. Pēc kādām īpašībām klasificē jaudas slēdzus?
3. Kāds ir eļļas slēdžu darbības princips?
4. Kāds ir elegāzes jaudas slēdžu darbības princips?
5. Kādas ir galvenās atšķirības starp eļļas slēdžiem un elegāzes slēdžiem?
6. Pēc kādiem kritērijiem izvēlas jaudas slēdzus?

## 7. AUGSTSPRIEGUMA ATDALĪTĀJI

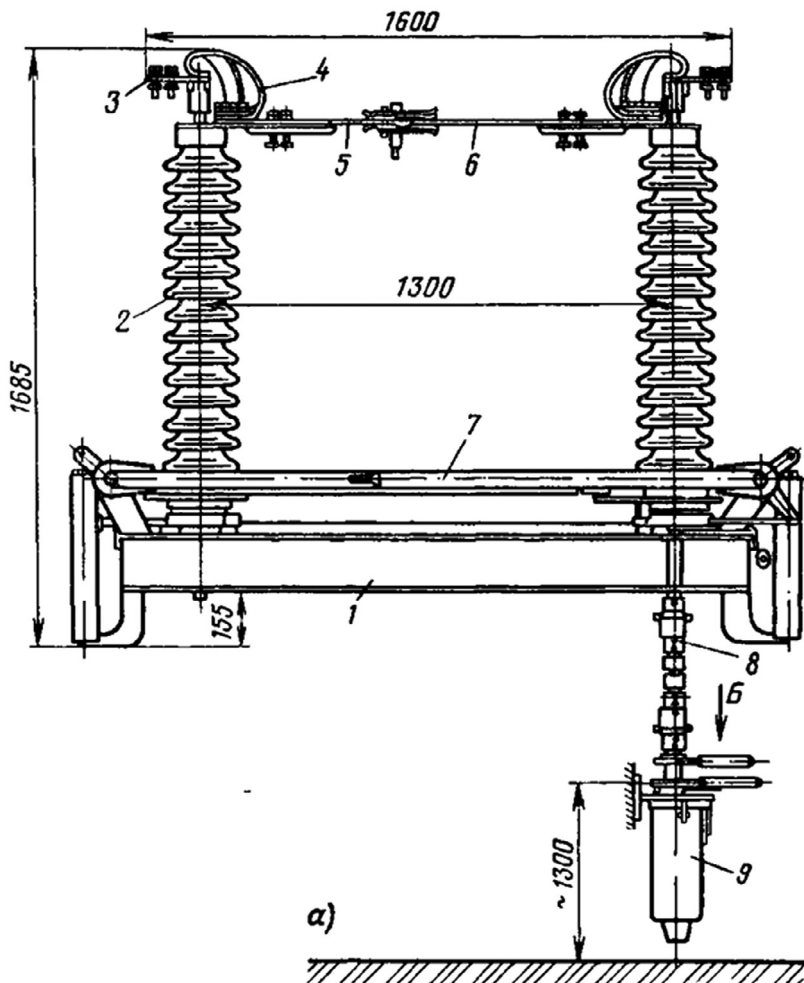
Atdalītāji ir vienkāršākais komutācijas aparāts, kas paredzēts elektriskās ķēdes atslēgšanai un ieslēgšanai bez slodzes, *radot redzamu elektriskās ķēdes pārtraukumu*. Tiem nav elektriskā loka dzēšanas iekārtas. Ja atdalītāju atslēdz kļūdaini, starp kontaktiem rodas elektriskais loks, kas, pārklājoties ar blakus fāzi, rada īsslēgumu. Papildus pamatkontaktiem parasti abās pusēs vēl ir zemēšanas naži. Tie tiek ieslēgti atslēgtās līnijas pusē, lai kļūdaina sprieguma padošanas gadījumā līnija tiktu atslēgta. Nelielā pieļaujamā atslēgšanas slodze, atbilstoši līnijas spriegumam, ir dota atdalītāju ekspluatācijas instrukcijās (piemēram, 20 kV tīklā tie ir 5 A). Tā kā tā ir atkarīga no sprieguma un caurplūstošās strāvas, tad ir iespēja veikt komutāciju pie augsta sprieguma nenoslogotā ķēdē (piemēram, nenoslogots transformators (7.2. att. c). Otrs gadījums būtu pie lielas slodzes un minimāla sprieguma (piemēram, transformatora vienlaicīga divpusēja barošana, kur katrā ķēdē ir atdalītājs, atslēdzot vienu atdalītāju, potenciālu starpība praktiski nav – (7.2. att. b).

### 7.1. ATDALĪTĀJU KLASIFIKĀCIJA

Atdalītājus klasificē pēc:

- Nomināla sprieguma un strāvas;
- Polu skaita;
- Uztādīšanas vietas;
- Ir vai nav zemēšanas naži.

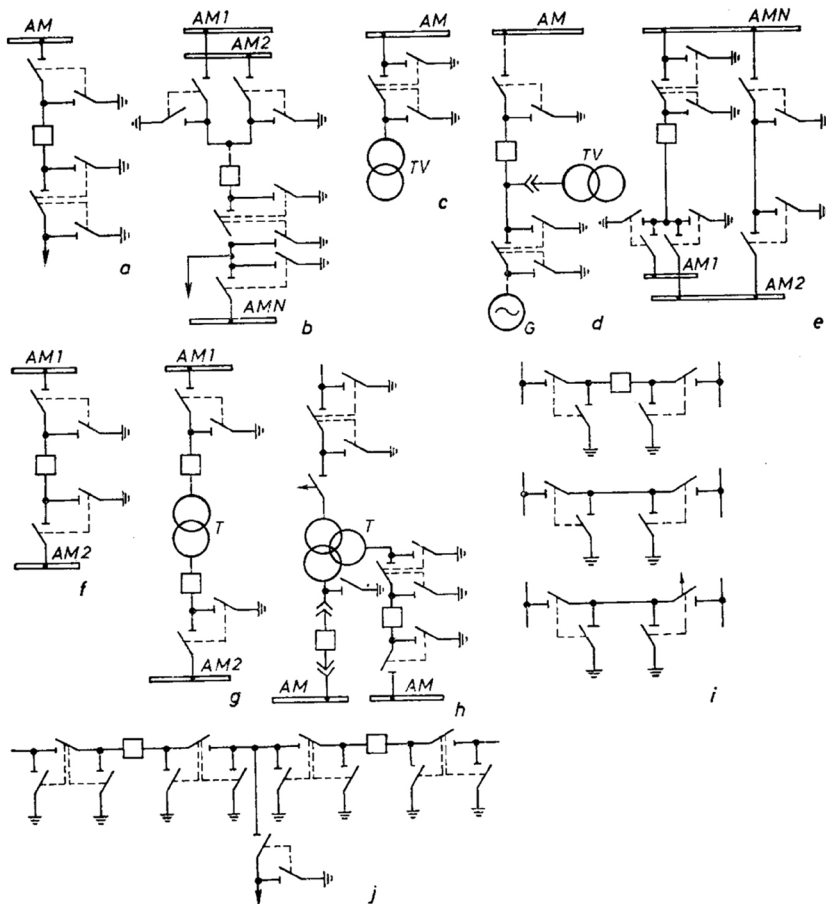
Tehniskās konstrukcijas izpildījumi ir dažādi, bet galvenie elementi ir rāmis, uz kura tiek samontēts atdalītājs, balsta izolatori vai caurvada izolatori un kontaktu sistēma. Arī kontaktu saslēgšanās veids var būt atšķirīgs. Vertikāli slēdzošos kontaktus pamatā izmanto līdz 20 kV spriegumam. Sākot ar 110 kV spriegumu plaši pielieto horizontāli slēdzošos kontaktu (7.1. att.), kaut gan jaunāka tipa atdalītājiem horizontālo atslēgšanas principu pielieto arī zemākiem spriegumiem. Vēl ir arī citas konstrukcijas (trīskolonnu rotējošais atdalītājs, divkolonnu vertikālais atdalītājs, svārsta tipa, piekartipa, pantogrāfa tipa). 6, 10, 20 kV spriegumiem visi atdalītāju poli atrodas uz viena korpusa, bet augstākiem spriegumiem katrs pols tiek uzstādīts atsevišķi un pēc tam tie tiek savienoti ar vadības mehānismu. Kā piemērs 7.1. att. ir dots *PHДЗ-2-110/2000* horizontālais ārtipa pagriežamais 110 kV sprieguma atdalītājs ar nominālo strāvu 2000 A.



7.1. att. PHД3-2-110/2000 tipa atdalītājs:

1 – rāmis, 2 – balsta izolators, 3 – kopņu pievienošanas spailēs, 4 – lokana saite, 5 – galvenais kustīgais kontakts ar lamelēm, 6 – galvenais kontakts bez lamelēm, 7 – zemēšanas naži, 8 – stienis uz piedziņu, 9 – piedziņa.

Kā redzam, uz metāla rāmja 1 ir uzmontēti divi pagriežami, uz gultņiem montēti balsta izolatori 2, kuri ir savstarpēji saistīti ar vadības stieni. Izolatoru galos ir nekustīgi nostiprinātas spailēs 3 kopņu pievienošanai. Kontakts 5 un 6 sauc par nažiem. Tie ir piestiprināti pie kustīgajiem izolatoriem. Kustīgie naži un pievadspailēs ir savstarpēji savienoti ar lokanu saiti. Atkarībā no strāvas lieluma, naži var sastāvēt no vairākām plāksnēm. Piedziņai pagriežoties, balsta izolatori pagriežas, un līdz ar tiem pagriežas kontakti, pārtraucot savienojumu. Šim atslēgšanas veidam ir priekšrocības ziemas apstākļos, kad veidojas ledus. Naži it kā salūzt pa vidu un tas nodrošina iespējamā ledus salaušanu. Augstāka sprieguma atdalītājiem uz kontaktiem ir speciāli pretledus aizsargapvalki. Zemēšanas naži 7 atrodas horizontālā stāvoklī, tas var būt viens, kā arī polam katrā pusē. Pie ieslēgšanas tie pagriežas vertikāli par  $90^\circ$  un savienojas ar speciālu kontaktu pie galvenā kustīgā kontakta. Lai nevarētu vienlaicīgi ieslēgt galvenos kontaktus un zemēšanas nažus, ir izveidota bloķēšanas sistēma. Zemēšanas nažiem un galvenajiem nažiem ir atsevišķas piedziņas. Zemēšanas nažu piedziņa ir tikai rokas vadības, bet galveno nažu piedziņa pie augstākiem spriegumiem notiek ar automātisko vadību. Zemēšanas nažu un atdalītāju pieslēguma shēmu piemēri ir parādīti 7.2. att..



7.2. att. Zemēšanas nažu un atdalītāju pieslēgumu shēmu piemēri:

a – līnijas pievienojums vienkopņu sistēmai, b – līnijas pievienojums divkopņu sistēmai, c – spriegummaiņa pievienojums, d – ģenerators pievienojums, e – apejas ķēdes divkopņu sistēmā ar apejkopnēm, f – ķēde ar kopņu sajūgslēdzi vai sekcijslēdzi, g – divtīnumu transformatora pievienojums, h – trīstīnumu transformatora pievienojums caur nodalītāju, i – pārvienojumu ķēdes tiltiņa shēmās, j – daudzstūru shēmas daļa ar pievienojumu.

Kā redzam 7.2. att., augstsprieguma atdalītāju izvietojums ir saistīts ar tā funkcionālo nozīmi, lai būtu redzams pārtraukums atslēdzamās ķēdes pusē. Zemēšanas naži kalpo atslēgtā posma sazemēšanai.

## 7.2. ATDALĪTĀJU IZVĒLE

Atdalītājus izvēlas pēc:

- Nominālā sprieguma  $U_N \geq U_p$
- Nominālās strāvas  $I_N \geq I_{apl.}$
- Elektrodinamiskās izturības  $i_{dyn} \geq i_{tr}$ , kur
- $i_{dyn}$  ir pieļaujamā īsslēguma strāvas momentānā vērtība, kura ir atrodama katalogos,  $i_{tr}$  ir aprēķinātā triecienstrāva.
- Termiskā izturība  $I_{th}^2 t_{th} \geq B_k$ , kur  $I_{th}^2 t_{th}$  – izgatavotājrūpnīcas garantētais siltuma impulss, ko aparāts spēj izturēt,  $B_k$  – aplēses siltuma impulss aparāta uzstādīšanas vietā.
- Brīvgausa sadale vai slēgta tipa sadale.



7.3. att. ir tabula, kurā redzami dažāda sprieguma atdalītāju veidi, ko piedāvā *Siemens*.

|                      | <br>Centra<br>pārrāvuma | <br>Dubultā<br>pārrāvuma | <br>Pantogrāfa | <br>Vertikālā<br>pārrāvuma | <br>Ceļa tipa | <br>Zemējuma |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>kV</b>            |                                                                                                          |                                                                                                           |                                                                                                 |                                                                                                             |                                                                                                 |                                                                                                 |
| 36                   | •                                                                                                        | •                                                                                                         |                                                                                                 |                                                                                                             |                                                                                                 | •                                                                                               |
| 52                   | •                                                                                                        | •                                                                                                         |                                                                                                 |                                                                                                             |                                                                                                 | •                                                                                               |
| 72,5                 | •                                                                                                        | •                                                                                                         |                                                                                                 |                                                                                                             |                                                                                                 | •                                                                                               |
| 100                  | •                                                                                                        | •                                                                                                         |                                                                                                 |                                                                                                             |                                                                                                 | •                                                                                               |
| 123                  | •                                                                                                        | •                                                                                                         | •                                                                                               | •                                                                                                           | •                                                                                               | •                                                                                               |
| 145                  | •                                                                                                        | •                                                                                                         | •                                                                                               | •                                                                                                           |                                                                                                 | •                                                                                               |
| 170                  | •                                                                                                        | •                                                                                                         | •                                                                                               |                                                                                                             |                                                                                                 | •                                                                                               |
| 245                  | •                                                                                                        | •                                                                                                         | •                                                                                               | •                                                                                                           |                                                                                                 | •                                                                                               |
| 420                  | •                                                                                                        | •                                                                                                         | •                                                                                               | •                                                                                                           |                                                                                                 | •                                                                                               |
| 550                  | •                                                                                                        | •                                                                                                         | •                                                                                               | •                                                                                                           | •                                                                                               | •                                                                                               |
| 800                  |                                                                                                          | •                                                                                                         |                                                                                                 |                                                                                                             | •                                                                                               | •                                                                                               |
| <b>A<sub>r</sub></b> | 1250 - 4000A                                                                                             | 1250 - 5000A                                                                                              | 3150 - 4000A                                                                                    | 1250 - 5000A                                                                                                | 1250 - 4000A                                                                                    | n/a                                                                                             |
| <b>A<sub>s</sub></b> | 23 - 63kA                                                                                                | 25 - 63kA                                                                                                 | 40 - 80kA                                                                                       | 31,5 - 63KA                                                                                                 | 31,5 - 63KA                                                                                     | up to 80kA                                                                                      |

7.3. att. Augstsprieguma atdalītāji (*Siemens dati*).

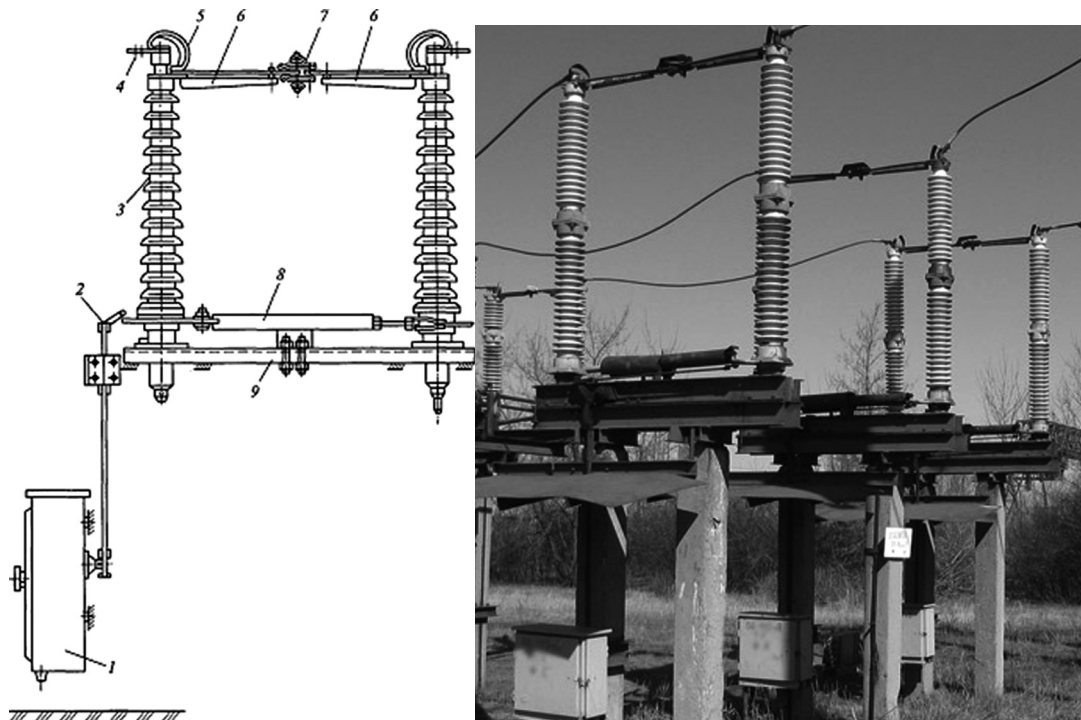
### 7.3. JAUTĀJUMI PAŠKONTROLEI

1. Kādām vajadzībām ir paredzēti atdalītāji un kur tos uzstāda?
2. Pēc kādām īpašībām klasificē atdalītājus?
3. Pēc kādiem kritērijiem izvēlas atdalītājus?
4. Kāds ir gaisa slēdžu darbības princips?

## 8. NODALĪTĀJI UN ĪSSLĒDZĒJI

### 8.1. NODALĪTĀJI

Nodalītājs būtībā ir ātrdarbīgs trīspolu atdalītājs ar automātisku piedziņas vadību. Tā uzdevums ir atslēgt bojāto elektriskās ķēdes posmu automātiskās atkārtotās ieslēgšanas starplaikā (AAI). Tos uzstāda 20 – 110 kV elektriskajos tīklos augstākā sprieguma pusē. Nodalītājiem tāpat kā atdalītājiem var būt zemēšanas naži, tie var būt gan vienā pusē, gan abās pusēs. *OD* tipa nodalītājs parādīts 8.1. att..



8.1. att. *OD*-110/600 tipa nodalītājs:

1 – piedziņa, 2 – sviru sistēma, 3 – pagriežami izolatori, 4 – kontaktu izvadi, 5 – lokana saite 6 – darba kontaktnāži, 7 – kontaktu lameles, 8 – aizsargapvalks, 9 – rāmīšis.

Ideja par nodalītājiem radās ekonomijas nolūkā. Lai nevajadzētu katras līnijas ievadā likt dārgos jaudas slēdžus, tos daļēji aizstāja ar diviem aparātiem – nodalītāju un īsslēdzēju. Kā jau iepriekš runājām, nodalītājs būtībā ir tāds pats kā atdalītājs un tādēļ ar viņu nevar komutēt slodzes strāvas, nerunājot nemaz par īsslēguma strāvām. Savukārt elektriskās līnijas otrā galā īsslēguma gadījumā nostrādā releju aizsardzība un atslēdz jaudas slēdzi. Releju aizsardzībai ir uzstādījums, ka līnija tiek ieslēgta atkārtoti (AAI). Tas ir paredzēts pārejoša īsslēguma gadījumā (piemēram, zars uz līnijas, kurš nodeg). Šajā bezstrāvas brīdī nodalītājam ir jāpaspēj atslēgt bojāto transformatoru no līnijas. Līdz ar to nodalītāja nostrādes laiks ir no 0,5 līdz 1 s. Nodalītājus klasificē pēc:

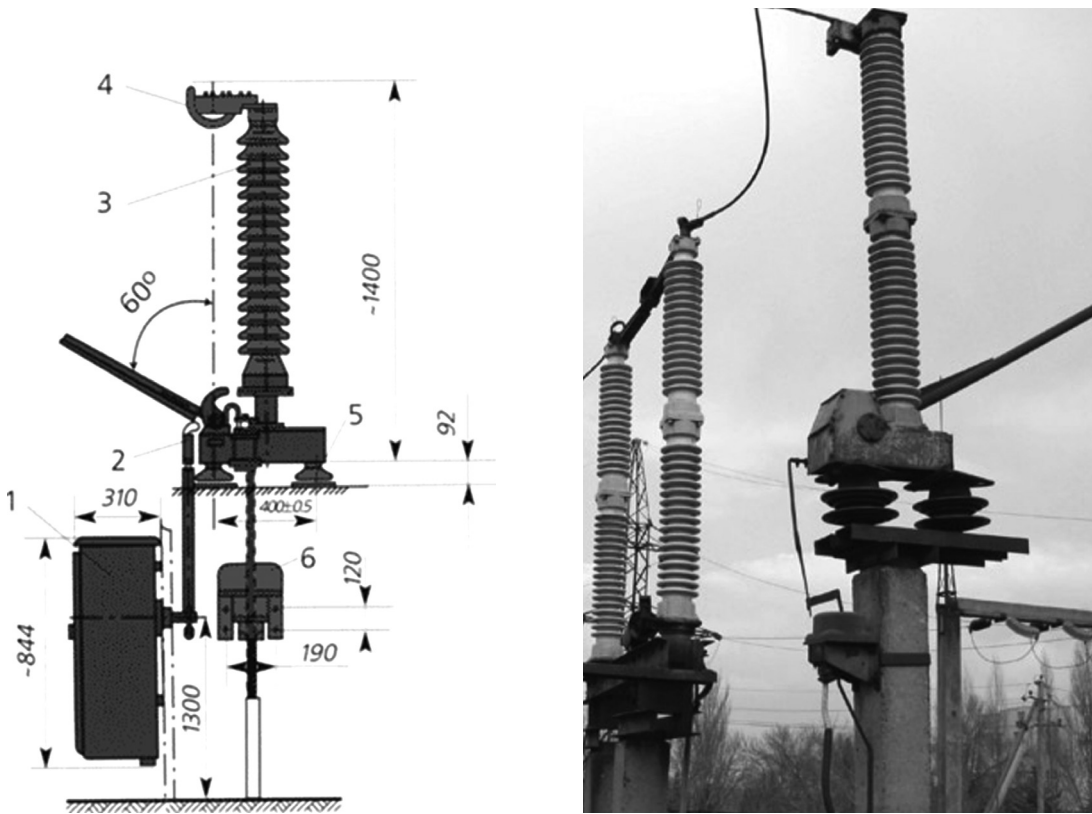
- Nominālā sprieguma;
- Nominālās strāvas;
- Pēc izolējošās vides, kurā darbojas kontakti – atklātā tipa nodalītāji un ar elegāzi pildītie nodalītāji (salīdzinot ar elegāzes jaudas slēdžiem, nodalītājos ir ievērojami zemāks gāzes spiediens).

## 8.2. ĪSSLĒDZĒJS

Īsslēdzējs ir vajadzīgs mākslīga īsslēguma radišanai. Ja transformatoram ir kādi iekšējie bojājumi, tad releju aizsardzība līnijas otrā galā var to nejust, bet ātrāk nostrādās transformatora iekšējā aizsardzība (diferenciālā aizsardzība un gāzes aizsardzība), kura ieslēgs īsslēdzēju. Tiem ir automātiskā ieslēgšana un rokas vadības izslēgšana. 20 kV sprieguma tīklā lieto divpola īsslēdzējus, jo izolētas neitrāles tīklos pietiekami lielas īsslēguma strāvas radišanai vajag divfāžu īsslēgumu. 110 kV un 220 kV sprieguma tīkli ir ar efektīvi zemētu neitrāli un tādēļ īsslēguma strāvas radišanai pietiek ar vienpola īsslēdzēju. Īsslēdzējus klasificē pēc:

- Nominālā sprieguma;
- Polu skaita – vienpola vai divpolu;
- Pēc izolējošās vides, kurā darbojas kontakti – atklātā tipa īsslēdzēji un ar elegāzi pildītie īsslēdzēji (tie ir ātrdarbīgāki, mazākiem gabarītiem un droši pret apkārtējās vides iedarbību).

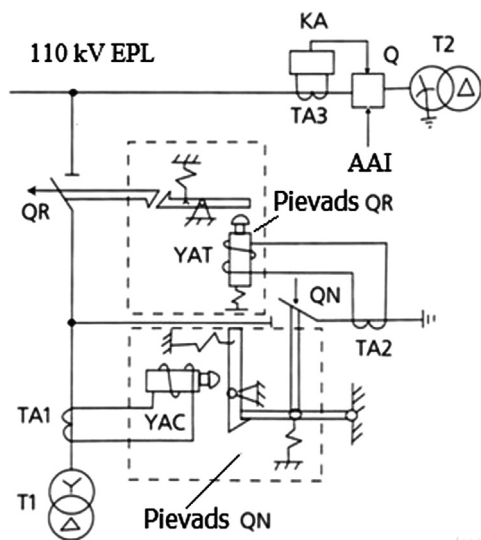
K3-110 tipa īsslēdzējs parādīts 8.2. att..



8.2. att. Īsslēdzējs K3-110.

1 – piedziņa, 2 – sviru sistēma, 3 – izolators, 4 – nekustīgais kontakts, 5 – balsta izolators, 6 – strāvmainis.

Apskatīsim piemērā nodalitāja un īsslēdzēja kopīgo darbības principu (8.3. att.).



8.3. att. Nodalītāja un īsslēdzēja darbība elektriskajos tīklos:

Q – jaudas slēdzis, QR – nodalitājs, QN – īsslēdzējs, T1 un T2 – spēka transformatori, TA1, TA2 un TA3 – strāvmaiņi, YAT – spole elektromagnētam, kas atslēdz nodalitāju, YAC – spole elektromagnētam, kas ieslēdz īsslēdzēju, AAI – automātiski atkārtota ieslēgšana.

Darba stāvoklī nodalitājs QR ir ieslēgtā stāvoklī, bet ar atslēgšanai nospriegotām atspērēm. Savukārt īsslēdzējs QN ir atslēgtā stāvoklī un arī ar nospriegotām atspērēm tā ieslēgšanai. Transformators T1 barojas no 110 kV līnijas, uz kuras barojošā apakšstacijā ir jaudas slēdzis Q un spēka transformators T2. Notiekot bojājumam transformatorā T1, caur strāvmaiņi TA1 plūst strāva, kā rezultātā nostrādā elektromagnēts YAC un atbrīvo īsslēdzēja QN ieslēgšanas atsperes. Īsslēdzējam saslēdzoties, uz līnijas parādās vienfāzes īsslēgums. Līnijas otrā galā strāvmaiņi TA3 inducējas EDS un nostrādā relejs KA. Tas atslēdz jaudas slēdzi Q un iedarbina AAI ķēdi. Vienlaicīgi īsslēguma strāva plūst arī caur strāvmaiņi TA2, kas iedarbina elektromagnētu YAT. Komutācijas laiki ir saskaņoti un, kad jaudas slēdzis Q ir līniju atslēdzis, bet AAI vēl nav nostrādājis, elektromagnēts YAT atbrīvo nodalitāja atslēgšanas atsperi. Tādā veidā nodalitājs bezstrāvas brīdī ir atslēdzis bojāto transformatoru no kopējā elektriskā tīkla. Jaudas slēdzis Q pēc AAI paliek ieslēgtā stāvoklī un 110 kV EPL atjaunojas barošana.

### 8.3. NODALĪTĀJU UN ĪSSLĒDZĒJU IZVĒLE

Nodalītāju izvēle ir tāda pati, kā atdalītājiem. Īsslēdzēju izvēle ir analoga, vienīgi atkrīt izvēle pēc nominālās strāvas ilgstošā darba režīmā, jo šādā režīmā īsslēdzējs nekad nestrādās.

### 8.4. JAUTĀJUMI PAŠKONTROLEI

1. Kas ir nodalitājs un kādiem mērķiem to izmanto?
2. Kas ir īsslēdzējs un kādiem mērķiem to izmanto?
3. Pēc kādām īpašībām klasificē nodalitājus?
4. Pēc kādām īpašībām klasificē īsslēdzējus?
5. Pēc kādiem kritērijiem izvēlas nodalitājus?
6. Pēc kādiem kritērijiem izvēlas īsslēdzējus?

## 9. PĀRVADES TĪKLU APAKŠSTACIJU GALVENĀS SHĒMAS

Elektrostacijās un apakšstacijās pielietojamo shēmu veidi var būt dažādi. Tas ir atkarīgs no konkrētiem izmantošanas apstākļiem, vispārējiem tīkla uzbūves principiem, apakšstaciju un barošanas avotu izvietojuma un atsevišķu sistēmas elementu uzbūves secības. Izvēloties jācenšas izveidot tādu shēmu, kas arī nākotnē, pie pieaugoša elektroenerģijas patēriņa, spēs nodrošināt pieprasījumu bez kardinālām pārbūvēm. Tāpat, izvēloties elektroapgādes shēmu, ir jāņem vērā līniju jaudas plūsmas dažādos slodžu režīmos. Parasti, lai paaugstinātu drošību, apakšstacijās uzstāda divus transformatorus, kas ir pieslēgti divām barojošām līnijām. Turklāt līnijas strādā slēgtā tīklā.

Salīdzinot vairāku Eiropas valstu elektroapgādes shēmas, ir redzams, ka tīkls izveidots kā cilpa ar diagonālēm starp apakšstacijām. Tāpat var būt atsevišķi 110 kV ievadi (pilsētu centros). Bieži, lai paaugstinātu drošumu, loki ir izveidoti ar divķēžu līnijām. Apakšstacijas ar trim transformatoriem ir retums. Tiek izmantotas gan vienkopņu sekcionētās, gan divkopņu shēmas.

### 9.1. SHĒMU VEIDI

Shēmu iedalījums saistīts ar slēdžu skaitu uz vienu pievienojumu. Tas ir jāsaprot kā pievienojums pie viena vai vairākiem transformatoriem, elektropārvides līnijām vai reaktoru pieslēgšanai. Izšķir četras pievienojumu pamatgrupas:

- Shēmas ar vienu slēdzi uz pievienojumu;
- Shēmas ar diviem un vairāk slēdžiem uz pievienojumu;
- Apvienotās daudzstūru shēmas;
- Vienkāršotās shēmas.

**Shēmas ar vienu slēdzi uz pievienojumu.** Tās ir shēmas, kur katrs pievienojums ar savu jaudas slēdzi nozarojas no kopņu sistēmas. Tās pieder pie radiālā tipa shēmām. Kopņu sistēmas var būt viena, divas, trīs un pat vairāk.

*Vienkopņu shēmā* katram pievienojumam ir savs jaudas slēdzis, kopņu atdalītājs un līnijas atdalītājs. Shēma ir vienkārša un lēta, bet tai piemīt vairāki trūkumi:

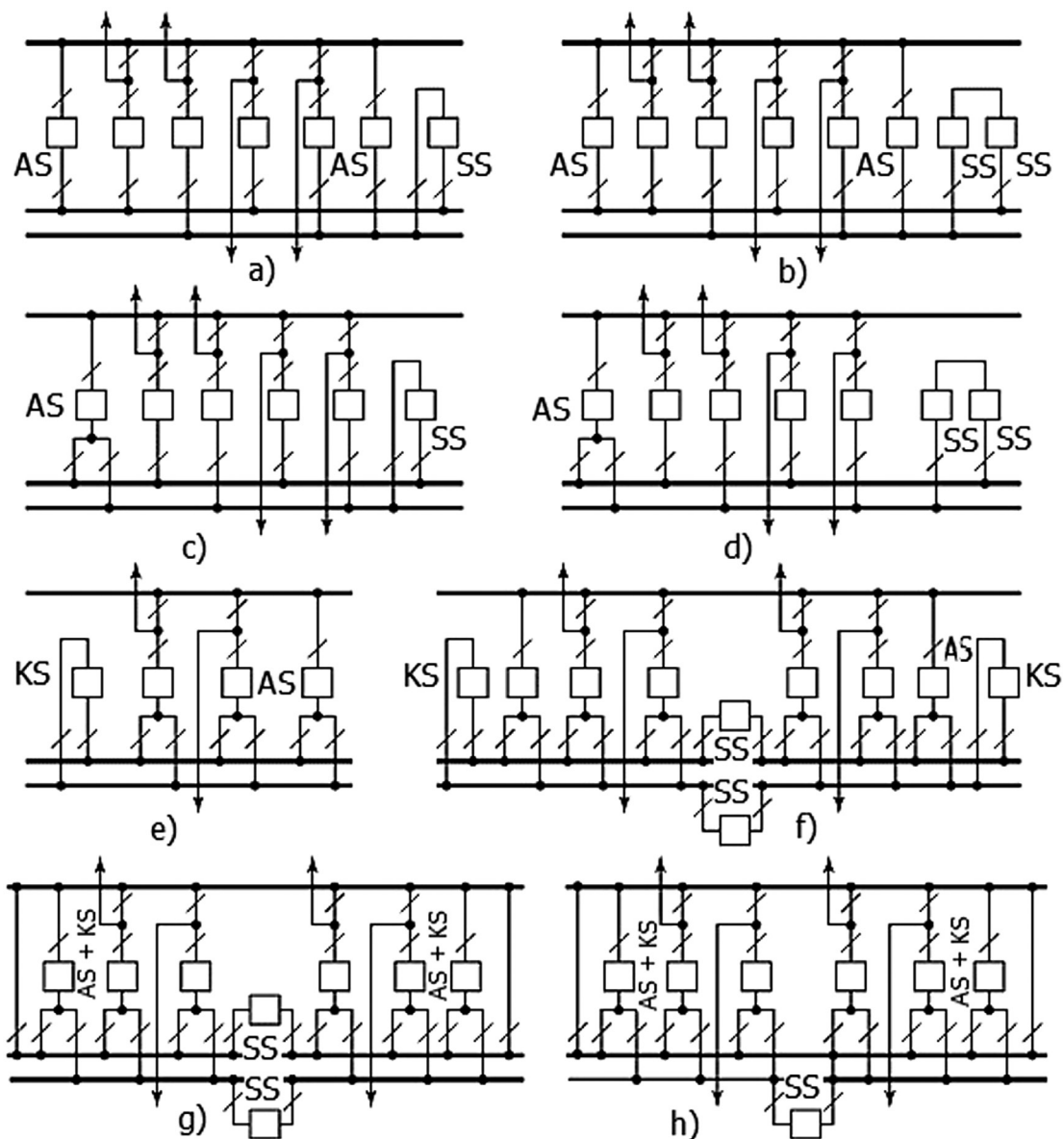
- Kopņu sistēmas vai kopņu atdalītāja remonta laikā ir jāatslēdz pievienojums;
- Īsslēgums kopņu sistēmas zonā izraisa sadales pilnīgu atslēgšanos;
- Līniju jaudas slēdžu atteices atslēgt īsslēgumu izraisa sadalnes pilnīgu atslēgšanos.

Lai novērstu šos trūkumus, lieto *sekcionēto vienkopņu vai daudzkopņu shēmu*. Sekcionēšana var būt izpildīta gan ar atdalītājiem, gan ar atdalītājiem un jaudas slēdzi (9.1. att.).

*Divkopņu shēmā* katram pievienojumam ir savs jaudas slēdzis, divi kopņu atdalītāji un sajūgslēdzis starp kopnēm. Priekšrocība, salīdzinot ar vienkopņu sistēmu, ir tāda, ka ir plašākas operatīvās iespējas. Remontu laikā var remontēt pēc kārtas katru kopni vai kopņu sekciju atsevišķi, neatslēdzot pievienojumu. Tādā gadījumā pievienojumu var pieslēgt otrai kopņu sistēmai, to izmanto arī operatīviem pārslēgumiem. Shēma dod iespēju realizēt īsslēguma strāvu ierobežošanas režīmu. Ja pielieto apejas kopnes, tas dod iespēju remontēt bez pievienojuma atslēgšanas. Ja ir liels pievienoto līniju skaits, tad pielieto līniju sekcionēšanu. Bieži pārvienojumus starp kopnēm veic ar atdalītājiem, kā rezultātā tie kļūst par operatīviem aparātiem, kas paaugstina atdalītāju bojājumu iespējamību. Šī shēma ir daudz drošāka par vienkopņu shēmu, bet tai arī ir trūkumi:

- Rodoties īsslēgumam kopņu sistēmas zonā, notiek visu bojātās sistēmas pievienojumu atslēgšanās. Pozitīvais, ka ātri var veikt pārslēgšanos uz otru kopni vai sekciju;
- Ja viena kopņu sistēma tiek remontēta, shēmai pazeminās darba drošums, jo visi pievienojumi ir pie vienas kopnes;
- Ja tiek bojāts sajūgslēdzis, atslēdzas visa kopņu sistēma;
- Sarežģītāka atdalītāju bloķēšana;
- Bieža atdalītāja darbināšana remonta laikā.

Šādas shēmas var pielietot elektriskā tīklā ar nominālo spriegumu līdz 220 kV.



9.1. att. Pirmās grupas AS shēmas ar vienu jaudas slēdzi katrai līnijai un vairākām kopņu sistēmām:

a – kopņu sistēma ar vienu sekcijslēdzi un diviem atsevišķiem apejslēdžiem katrai sekcijai; b – kopņu sistēma ar diviem virknē slēgtiem sekcijslēdžiem un diviem atsevišķiem apejslēdžiem katrai sekcijai; c – kopņu sistēma ar vienu sekcijslēdzi un vienu apvienoto apejslēdzi abām sekcijām; d – kopņu sistēma ar diviem virknē slēgtiem sekcijslēdžiem un vienu apejslēdzi abām sekcijām; e – divkopņu shēma ar apvienoto apejslēdzi un kopņu slēdzi; f – divkopņu shēma ar diviem sekcijslēdžiem, diviem kopņu slēdžiem un diviem apvienotiem apejslēdžiem; g – divkopņu shēma ar diviem sekcijslēdžiem, diviem apvienotiem kopņu -sekciju apejslēdžiem; h – tas pats, tikai ar vienas kopnes sekcionēšanu;

AS – apejslēdzis; SS – sekcijslēdzis; KS – kopņu slēdzis.

**Shēmas ar diviem slēdžiem uz pievienojumu.** Shēmas sastāv no viena vai vairākiem noslēgtiem kontūriem ar nozarojumiem uz barošanas avota pusi un uz patērētāju pusi. Katru pievienojumu pieslēdz ar diviem vai vairākiem jaudas slēdžiem un ir divu kopņu sistēma. Šādas shēmas sauc par shēmām ar vairākkārtēju pievienojuma pieslēgšanu vai par gredzenshēmām (9.2. att.).

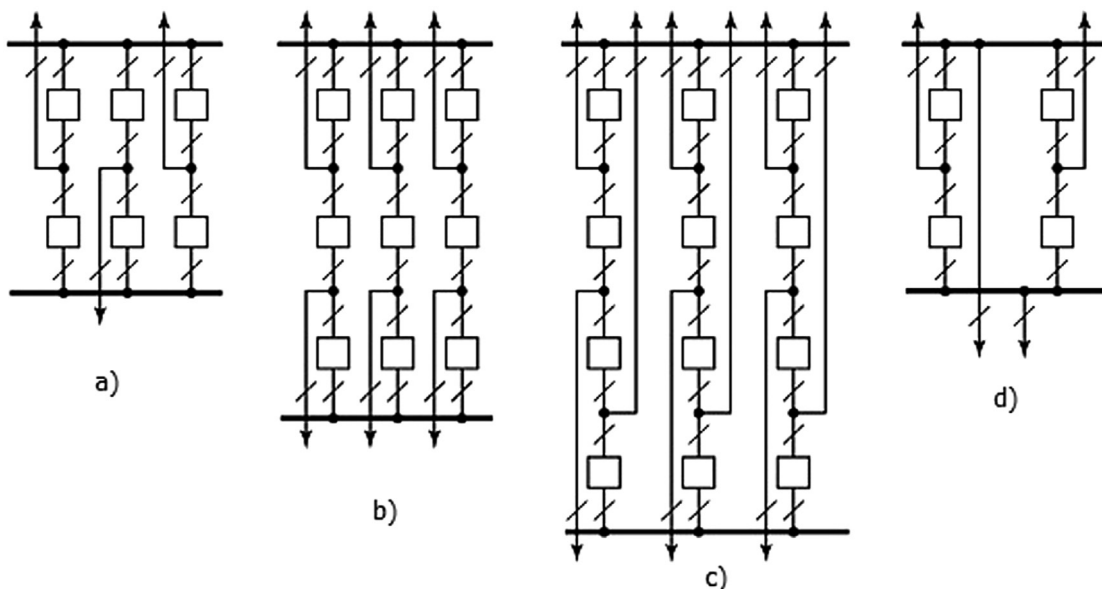
**Ķēžu shēmas** sastāv no vairākiem kontūriem. Ir divas kopnes un vairāki virknē slēgti jaudas slēdži. Diviem pievienojumiem lieto trīs slēdžus, to sauc par *pusotrkārtīgo shēmu* un izmanto 330 kV – 750 kV sprieguma līnijā. Tas nozīmē, ka starp katrām divām slēdžiem ir pieslēgta viena līnija. Trīs pievienojumiem lieto četrus slēdžus, to sauc par *četrus trešdaļu shēmu*. Šo shēmu ir ērti lietot, ja pievienojumu skaits ir divas reizes lielāks vai mazāks par transformatoru skaitu. Ja uz viena pievienojuma ir trīs un vairāk jaudas slēdži, tad šādu shēmu mēdz saukt par *daudzstūru shēmu*. Atbilstoši jaudas slēdžu skaitam, daudzstūru shēmas var būt trīsstūra, četrstūra, piecstūra, sešstūra un teorētiski arī vairāk. No drošības viedokļa ir pieņemts, ka pievienojumu skaits nevar būt lielāks par sešiem. Šāda tipa shēmām ir sekojošas priekšrocības:

- Atslēdzot un remontējot jebkuru jaudas slēdzi, pievienojums paliek pieslēgts caur otru jaudas slēdzi;
- operatīviem pārslēgumiem nav jāizmanto atdalītāji. Tas samazina iespējamo iekārtas bojājuma varbūtību;
- Ja ir īsslēgums sadalē vai pievienojumā, atslēdzas tikai viens pievienojums;
- Bojājumu gadījumā praktiski nav iespējama visas sadales atslēgšanās.

**Trīsstūra shēma** – visvienkāršākais daudzstūru shēmas veids. Lieto 220 kV – 500 kV sprieguma tīklos, pie jaudas tranzīta vai līnijas sekcionēšanas gadījumā. Pie jaudas slēdža atteices shēma pilnībā tiek nodzēsta.

**Četrstūra shēma** – uzlabots trīsstūris, lieto 220 kV – 500 kV sprieguma tīklos pie divu transformatoru un divu pievienojumu pieslēgšanas. Jaudas slēdža bojājuma gadījumā tiek atslēgti divi pievienojumi.

**Sešstūra shēma** – lieto 220 kV – 500 kV sprieguma tīklos pie sešu pievienojumu pieslēgšanas.



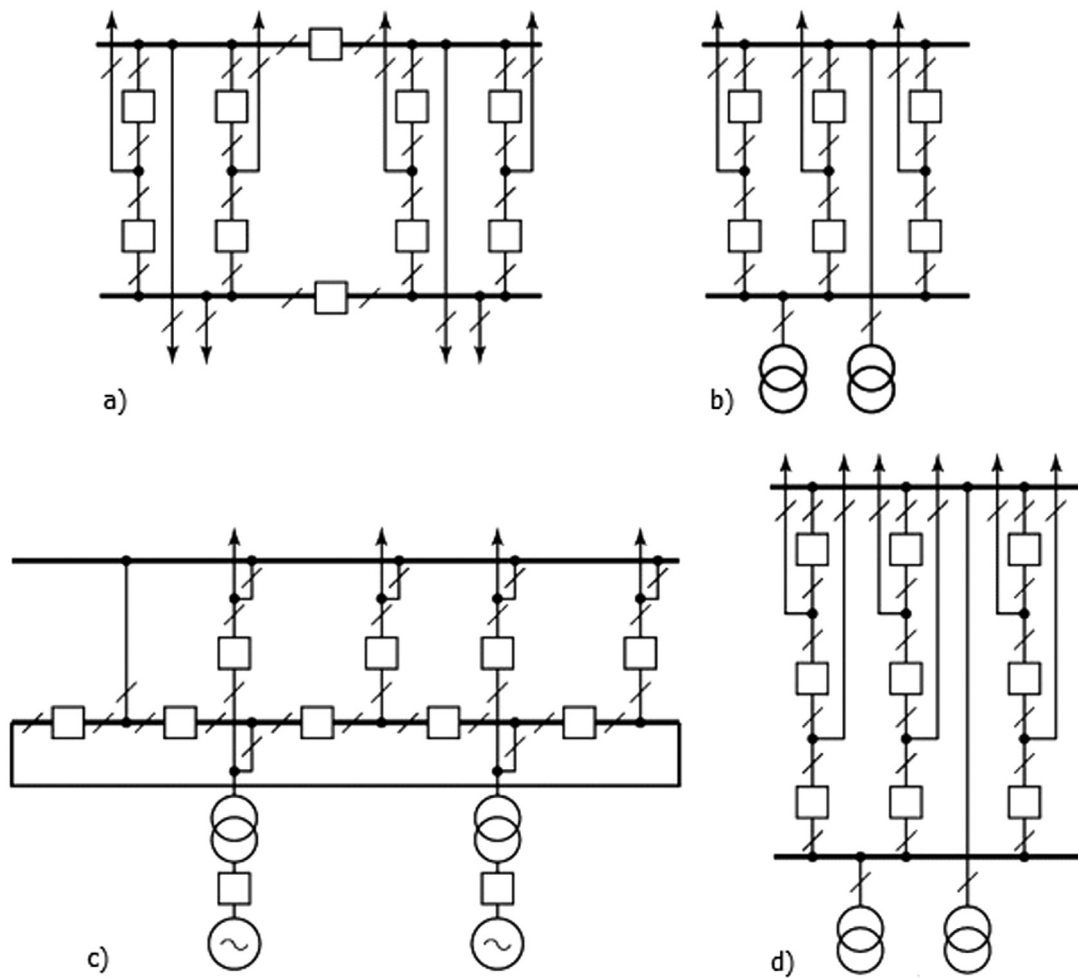
9.2. att. Daudzstūru shēmas:

a – shēma 2/1, divi slēdži uz līniju; b – shēma 3/2, trīs slēdži uz līniju; c – shēma 4/3 četri slēdži uz līniju; d – daudzstūru shēma (četrstūra shēma).

**Apvienotās daudzstūru shēmas** lieto 220 kV – 500 kV sprieguma tīklos ar lielu pievienojumu skaitu. Tajos apvieno daudzstūru shēmas, novēršot to nepilnības. Arī šīs shēmas pieder pie gredzenveida shēmām. Uz katru pievienojumu ir divi jaudas slēdži. Bojājuma gadījumā pievienojumu atslēdz divi vai trīs jaudas slēdži. Bojājums kopņu zonā izraisa viena pievienojuma atslēgšanos. Ja īsslēgums ir daudzstūru savienojošā jaudas slēdži, tad var atslēgties vienlaikus divi bloki.

**Kopnes-transformators shēmu** lieto 330 kV – 750 kV sprieguma apakšstacijās ar trim vai četrām līnijām un diviem transformatoriem. Transformatori kopnēm pieslēgti tikai ar atdalītājiem, tā tiek ietaupīti divi jaudas slēdži. Perspektīvā šo shēmu ir iespējams pārveidot citā shēmā.



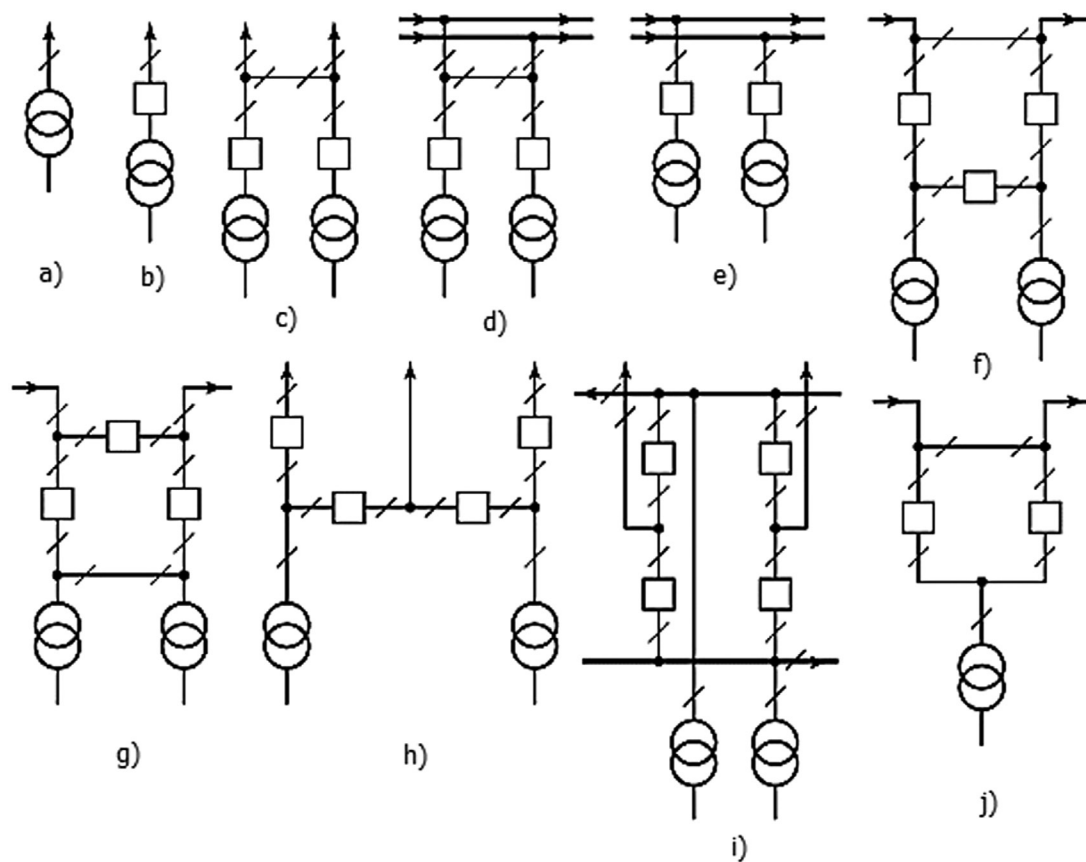


9.3. att. Apvienotā daudzstūru shēma:

*a – apvienotā četrstūru shēma; b – shēma transformators-kopnes; c – shēma ģenerators-transformators-līnija ar izlīdzinošo apejdaudzstūri; d – shēma transformators-kopnes ar pusotrkārtīgo līniju pievienojumu.*



**Vienkāršotās shēmas.** Tās ir shēmas, kur jaudas slēdžu ir mazāk, nekā pievienojumu. Pie šīm shēmām pieskaita bloku shēmas, atzarus no garāmejošām līnijām, tiltiņshēmas, paplašināto četrstūri, caurejošo jeb bezkopņu shēmu (9.4 att.).



9.4. att. Vienkāršotās shēmas:

*a – bloks ar atdalītāju; b – bloks ar jaudas slēdzi; c – divi bloki ar jaudas slēdzi un tiltiņu līnijas pusē; d, e – atzars no garāmejošas līnijas; f – tiltiņshēma ar jaudas slēdzi transformatora pusē un atdalītāju līnijas pusē; g – tiltiņshēma ar atdalītāju transformatora pusē un jaudas slēdzi līnijas pusē; h – dubultā tiltiņshēma; i – paplašināts daudzstūris; j – bezkopņu shēma (caurejošā shēma).*

*Bezkopņu shēmu (9.4. att. i) lieto, ja nav augstas drošuma prasības.*

Augstsprieguma pusē nav jaudas slēdža. Ja uz līnijas ir bojājums, nostrādā jaudas slēdzis līnijas otrā galā pie citas apakšstacijas. Ja bojājums ir transformatorā, nostrādā transformatora iekšējā aizsardzība un ieslēdz īsslēdzēju. Kā jau nodaļā par īsslēdzējiem bija teikts, jaudas slēdzis līnijas otrā galā atslēdz ķēdi, un bezstrāvas brīdī nodalītājs atslēdz bojāto transformatoru. Otrs nodalītājs pieslēdz rezerves transformatoru. Šādas shēmas var pielietot elektriskajā tīklā ar nominālo spriegumu 35 kV – 220 kV.

## 9.2. JAUTĀJUMI PAŠKONTROLEI

1. Pēc kāda principa tiek iedalītas AS shēmas?
2. Kāda ir vienkopņu shēma un kas ir daudzkopņu shēma?
3. Ko nozīmē kopņu sekcionēšana?
4. Kādas ir shēmas ar vienu slēdzi uz pievienojumu?
5. Kādas shēmas ir radiālās?
6. Kādas shēmas ir gredzenshēmas?
7. Kādas ir shēmas ar diviem slēdžiem uz pievienojumu?
8. Kādas ir daudzstūra shēmas?
9. Kāda ir bezkopņu shēma?
10. Kāda ir apvienotā daudzstūru shēma?
11. Kāda ir ķēžu shēma?
12. Kāda ir shēma “kopne-transformators”?

## 10. APAKŠSTACIJU AUGSTSPRIEGUMA SADALNES IEKĀRTAS

Sadalnes iekārtas klasificē pēc sekojošām pazīmēm:

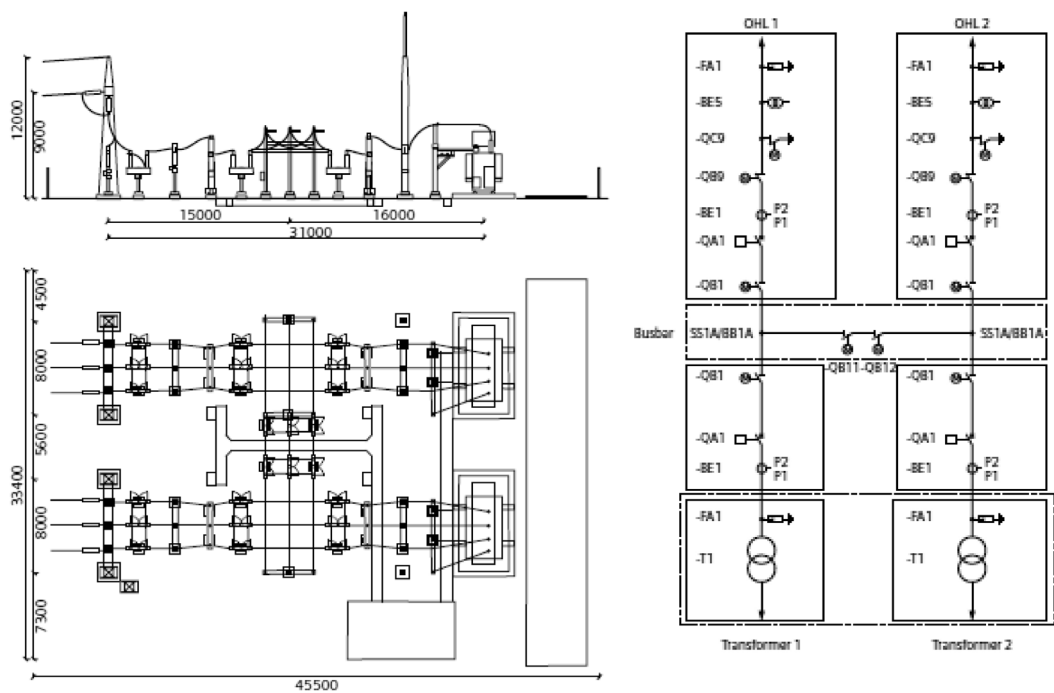
- Iekštelpu sadalnes (IS) – izvieto telpās;
- Brīvgaisa sadalnes (BS) – tās ir ārējo sadalnes, kur strāvu vadošās daļas ir izvietotas atklāti;
- Nekomplektās sadalnes – kur visus mezglus montē atsevišķi objektā uz vietas;
- Komplektās sadalnes – kur pamatmezgli tiek samontēti jau rūpnīcā. Šādas sadalnes ir visprogresīvākās un tās tiek izgatavotas gan IS, gan BS izpildījumā.

Izvēloties sadalņu tipu, jāņem vērā sekojošas prasības:

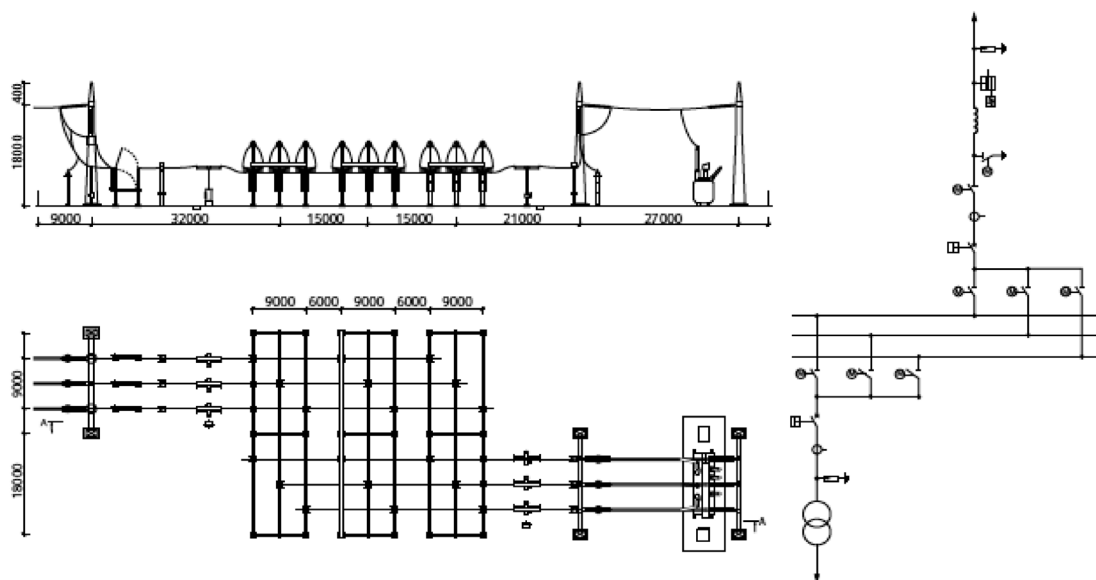
- Darbības drošums – to nosaka iekārtas izvēle, izbūves kvalitāte un ekspluatācija;
- Ekspluatācijas ērtums – jāparedz laba pārskatāmība, droša un ērta iekārtas apkalpošana un remonta iespējas;
- Ekspluatācijas drošība – jāparedz bloķēšanas ierīces, droši attālumi no strāvu vadošām daļām;
- Sprādziendrošība un uguns drošība – nodrošina, izvēloties atbilstošas drošības pakāpes elektroiekārtas, veidojot atbilstošas būvkonstrukcijas un ievērojot noteiktos attālumus;
- Perspektīvās attīstības iespējas – jāņem vērā perspektīvā iespējamais jaudas patēriņa pieaugums un iespēja to nodrošināt, veicot pārbūvi, rekonstrukciju vai paplašināšanu;
- Ekonomiskums – izvēlei jābūt ekonomiski pamatotai, veicot vairāku alternatīvu risinājumu aprēķināšanu un salīdzināšanu;
- Vides faktors – jāņem vērā, kādu iespaidu uz vidi atstās elektroiekārtas būvniecība un ekspluatācija, jāņem vērā visi vides aizsardzības likumi un normas (izmešu daudzums, trokšņa līmenis, apkārtējās vides piesārņošana utt.).

### 10.1. BRĪVGAISA SADALNES

BS sadalnes ir lētākas, bet aizņem lielāku teritoriju. Iekārtas stiprina uz metāla vai dzelzsbetona konstrukcijām. Transformators, protams, atrodas uz zemas platformas un zem tā ir eļļas uztveršanas tilpums eļļas savākšanai avārijas noplūdes gadījumā. Kā strāvas vadītājs ir kopnes. Tās var būt gan lokānu vadu veidā, kas stiprinās ar piekarizolatoriem, gan cauruļu veidā, kas pie konstrukcijām stiprinās ar balsta izolatoriem. Portālu (konstrukciju) augstumu nosaka apkalpojošā personāla drošības un elektroiekārtu transportēšanas nosacījumi. Portālu augstumam jāatbilst atdalītāju, jaudas slēdžu, pārsprieguma novadītāju, mērtransformatoru un sakaru iekārtas novietošanas augstumam. Parasti tiklu barošanas centros apakšstacijas sadalnes ekspluatē bez pastāvīga apkalpojošā personāla. Tāpēc tās ir aprīkotas ar iekārtām kontrolei un vadīšanai no dispečeru centriem. Spēka, mērīšanas, aizsardzības, automātikas un komunikācijas kabeļi ir novietoti zemē kabeļu kanālos.



10.1. att. Siemens firmas 110 kV 2BB tipa brīvgaisa sadalne ar diviem transformatoriem.



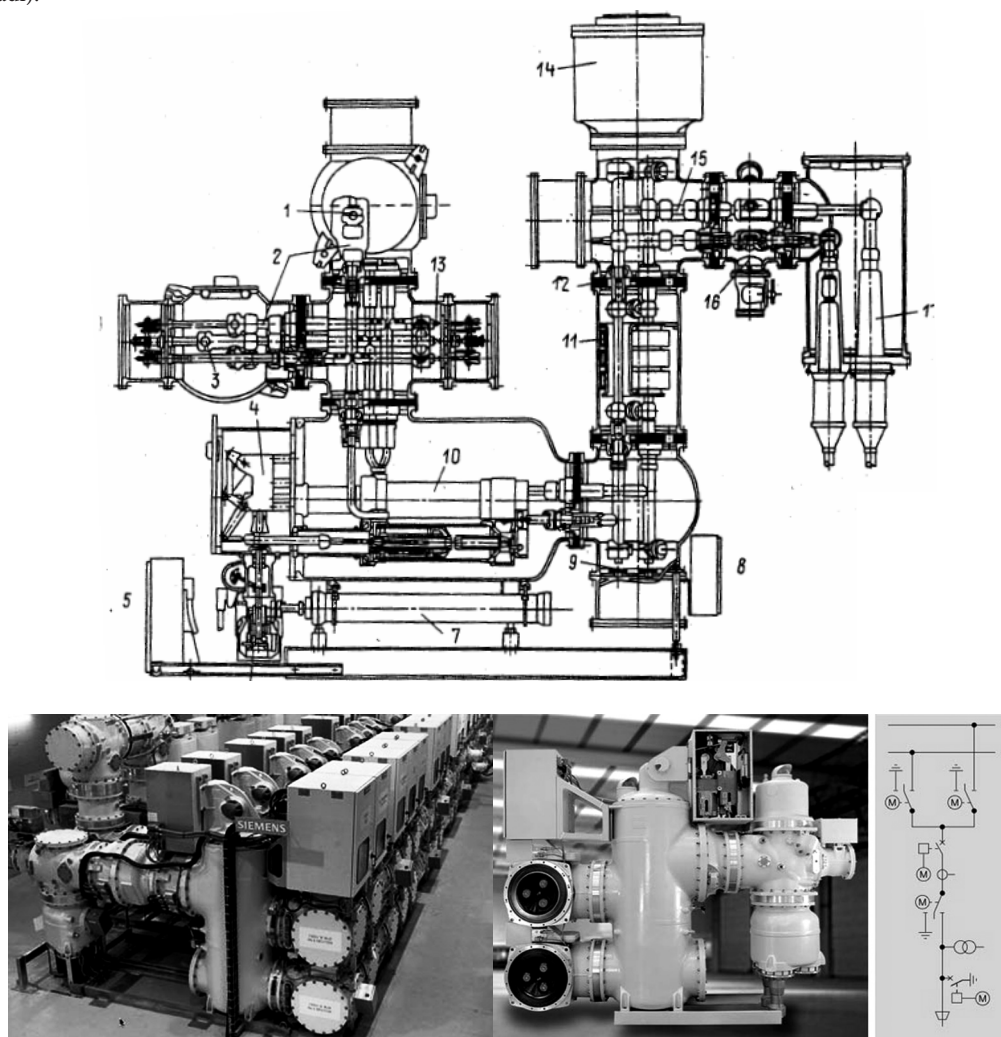
10.2. att. Siemens firmas 330 kV 3BB tipa brīvgaisa sadalne ar vienu transformatoru.

## 10.2. IEKŠTELPU SADALNES

Šāda tipa sadalnes parasti izbūvē, ja ir ierobežota teritorija, vai arī, ja jārēķinās ar ārējās vides iespaidu uz izolāciju. Tāpēc IS parasti būvē rūpniecības centros un lielās pilsētās. Šādai izvēlei ir jābūt ekonomiski pamatotai. IS izvieto vairākstāvu ēkā, kur augšējā daļā ir kopnes, bet apakšējā daļā atrodas aparatūra. Ievadi pamatā ir veikti ar kabeļiem.

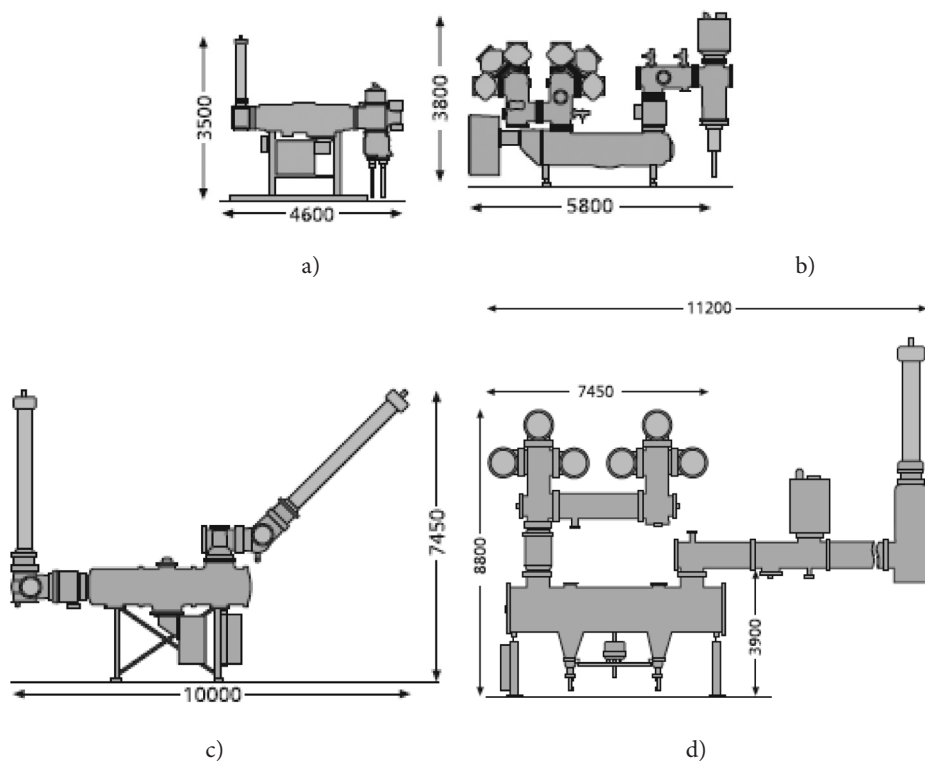
## 10.3. KOMPLEKTĀS SADALNES

Komplektās sadalnes tiek ražotas un komplektētas rūpnīcā uz vietas. Atbilstoši pasūtītāju vajadzībām tiek izveidoti atbilstoši moduļi. Pateicoties elegāzes iekārtu attīstībai, radās iespēja samazināt iekārtu lielos izmērus. Ja agrāk tika veidotas vienas fāzes komplektās iekārtas, tad tagad ir iespēja veidot trīsfāžu komplektās iekārtas. Tiek ražotas komplektās sadalnes, kur kopējā korpusā ir visi nepieciešamie aparāti un savienojumi (jaudas slēdzis, atdalītājs, spriegummainis, strāvmainis un citi mezgli, ieskaitot automātiku, aizsardzību un vadību). Šādām apakšstacijām nav vajadzīga apkalpošana, izgatavotājrūpnicas garantē ļoti lielu autonomu darbību (atkarībā no ražotāja, tas var būt 25 gadi).



10.3. att. Siemens firmas 8DN8 tipa komplektā sadalne spriegumam līdz 145 kV.

1,3 – kopnes; 2,15 – kopņu līniju atdalītāji; 4 – jaudas slēdža darbinātājs; 5 – vadības skapis; 6 – hidrauliskais darbinātājs; 7- slēdža darbinātāja hidroakumulators, 8,13 – zemētāji; 10 – jaudas slēdzis; 11,14 – strāvmainis un spriegummainis; 12 – lietā epoksīda caurvads; 16 – ātrdarbīgs zemēšanas nazis, 17 – kabeļizvadi.



10.4 .att. Siemens firmas komplektās sadalnes dažādiem spriegumiem:

a) 8DN8,  $U_N = 72,5/145 \text{ kV}$ ; b) 8DN9,  $U_N = 245/300 \text{ kV}$ ; c) 8DQ1,  $U_N = 420/550 \text{ kV}$ ; d) 8DR1,  $U_N = 800 \text{ kV}$ .

#### 10.4. JAUTĀJUMI PAŠKONTROLEI

1. Pēc kādām pazīmēm tiek klasificētas sadalnes?
2. Kas jāņem vērā, izvēloties sadalnes tipu?
3. Kāds ir brīvgaisa sadalnes uzbūves princips?
4. Kādos gadījumos būvē iekšējās sadalnes?
5. Kādas ir kompaktās apakšstaciju priekšrocības un uzbūves īpatnības?

## 11. ELEKTRISKĀS PĀRVADES LĪNIJAS

Elektriskās pārvades līnijas (EPL) veido gaisvadu līnijas (GPL) un kabeļu līnijas (KPL). Pirmajā nodaļā apskatījām EPL klasifikācijas principus. Šajā nodaļā iepazīsimies ar līniju konstruktīvo risinājumu un tām izvirzītajām prasībām. Atbilstoši LEK 002 dotajai terminoloģijai:

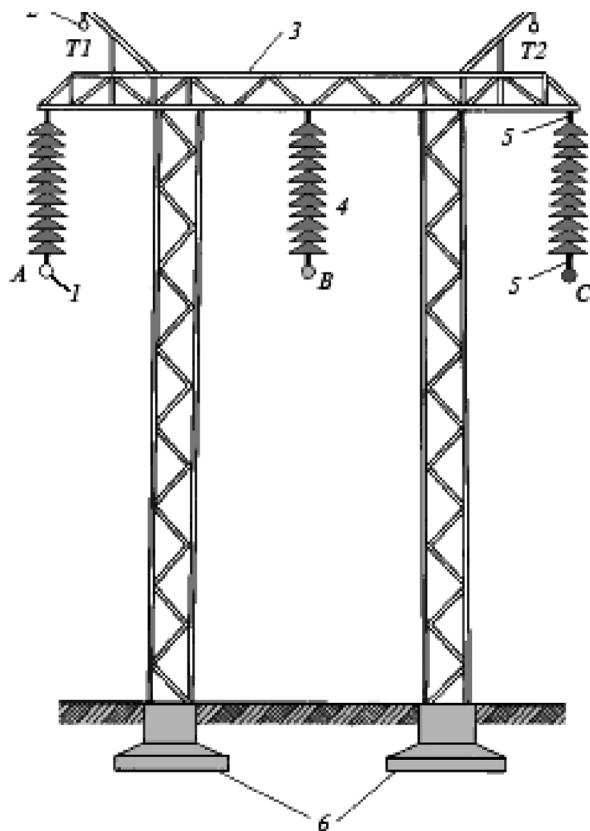
- Gaisvadu līnija ir elektrolīnija, kuras vadi nostiprināti balstos uz izolatoriem noteiktā augstumā virs zemes;
- Kabeļlīnija ir elektrolīnija, kas izveidota ar īpašu izolētu vadu – kabeli un instalēta zemē, pa ēkas sienām, kabeļkanālos, caurulēs vai tamlīdzīgi.

### 11.1. GAISVADU ELEKTROPĀRVADES LĪNIJAS

Gaisvadu pārvades līniju ekspluatācija sevī ietver sekojošus darbus:

- Līniju tehnisko apkalpošanu, kas sevī ietver apskates, profilaktiskās pārbaudes, kā arī mērījumus un bojājumu novēršanu;
- Līniju remontu ar atsevišķu elementu nomaiņu, atjaunojot līnijas darbību, kā arī trašu tīrīšanas darbus.

GPL remontu un ekspluatāciju jāorganizē atbilstoši elektroapgādes uzņēmumu ekspluatācijas organizācijas shēmai un jānodrošina Aizsargjoslu likuma prasību ievērošana. GPL galvenie konstruktīvie elementi ir balsti, vadi, ekrāntrose, izolatori un līnijas armatūra, pie kā tiek stiprināti izolatori (11.1. att.). Balsti paredzēti drošai vadu un ekrāntroses noturēšanai noteiktā attālumā no zemes un citām konstrukcijām gan normālā darba režīmā, gan avārijas situācijās.



11.1. att. Piemērs GPL galvenajiem konstruktīvajiem elementiem:

1 – Līnijas fāzes vadi (A, B, C); 2 – ekrāntrose ( $T_1$ ,  $T_2$ ); 3 – balsts; 4 – izolatoru virtene (girlande); 5 – armatūra; 6 – pamats balstam.

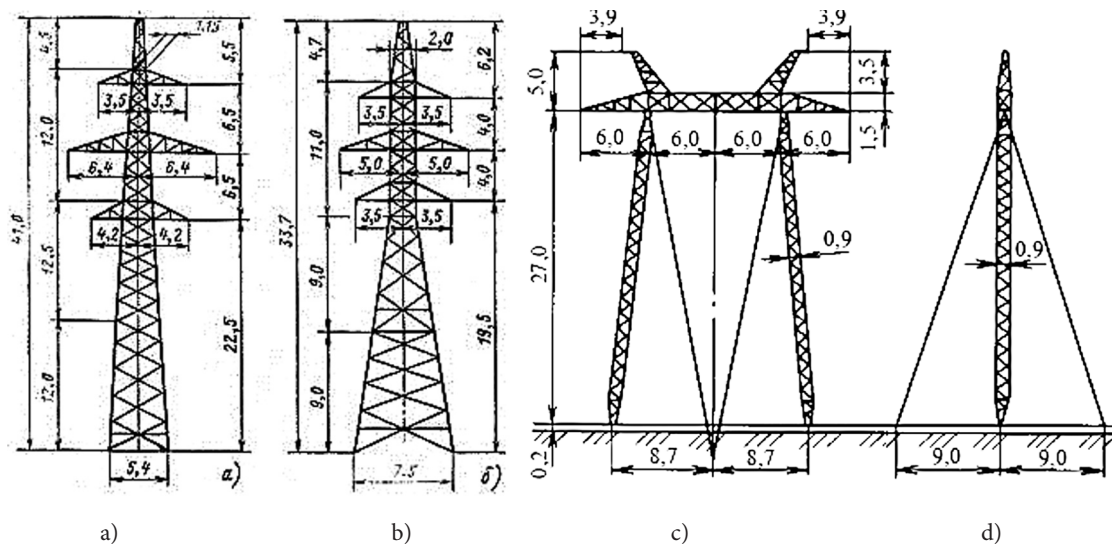
Balstu materiāls var būt metāls (visiem spriegumiem), dzelzsbetons (līdz 500 kV) un koks (līdz 220 kV, Latvijā koku 110 kV EPL nepielieto). Forma ir atkarīga no mehāniskās stiprības un drošības viedokļa, balsta atrašanās vietas – līnijas galos, pa vidu, pagriezienos, pārlaidumos, kā arī no tā, cik līnijas uz balsta ir jāstiprina. Klasifikācija pēc līniju skaita:

- *Vienķēžu līnija* (trīs fāzes vadi un viena vai divas ekrāntroses);
- *Divķēžu līnija* (seši fāzes vadi un viena vai divas ekrāntroses);
- *Daudzķēžu līnija* (n fāzes vadi un viena vai divas ekrāntroses).

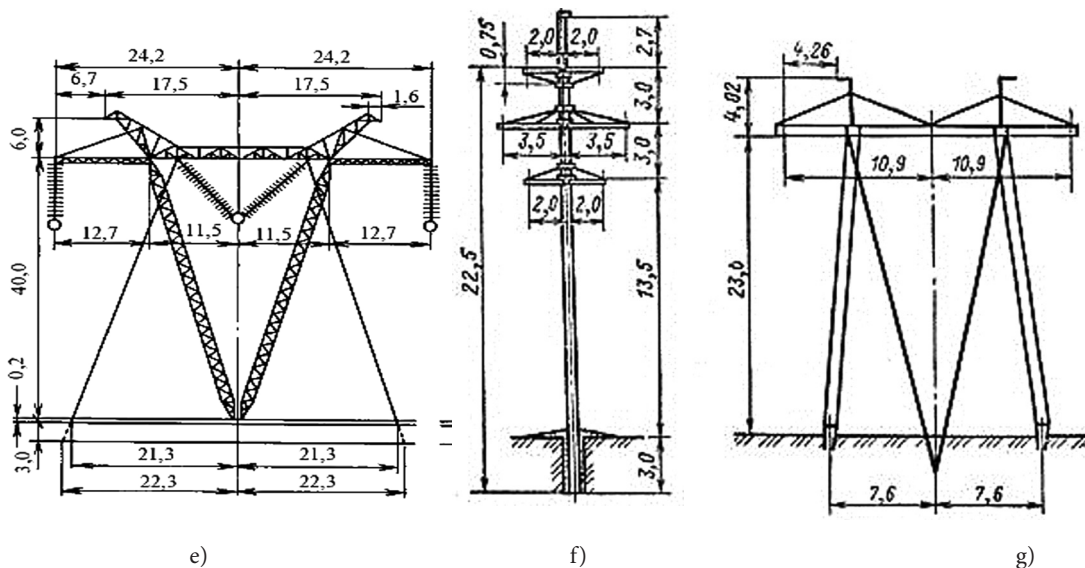
Klasifikācija pēc balsta atrašanās vietas līnijā un vadu stiprinājuma veida:

- *Starpbalsts* (uzstāda taisnos līnijas posmos, normālos darba apstākļos iedarbojas tikai vertikālie smaguma spēki);
- *Enkurbalsts* (uzstāda līnijas pagriezienos un līnijas vidū kā stiprinājumu avārijas gadījumā pie vadu pārrāvuma. Iedarbojas gan vertikāli vērstie smaguma spēki, gan horizontāli zem noteikta leņķa vērsti līnijas nostiepes spēki);
- *Starpleņķa balsti* (uzstāda līnijas pagriezienos. Vadi tiek montēti bez piesiešanas uz rullīšiem pie izolatora. Tie var izslidēt un avārijas gadījumā kompensēt līnijas nospiegumu). Balsti var būt gan ar stuti, gan ar atsaiti;
- *Gala balsti* (enkurbalsta paveids, kurus uzstāda līnijas galos un tur, kur GPL pāriet KPL);
- Speciālas nozīmes balsti: *krustbalsts* (uzstāda līniju savstarpējās krustošanās vietās), *nozārbalsti* (uzstāda līniju nozarojumu pieslēgšanas vietās), *pārejas balsti* (uzstāda vietās, kur GPL iet pāri kādiem objektiem, piemēram ceļam, upei u.c.).

Metāla balstu un dzelzsbetona balstu piemēri ir doti 11.2. att.





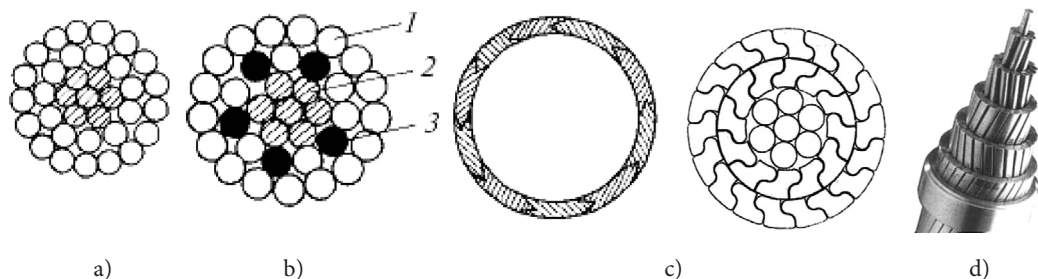


11.2. att. GPL metāla un dzelzsbetona balsti:

a – 110 kV torņa tipa metāla enkurbalsts ar divķēžu līniju; b – 220 kV torņa tipa metāla starpbalsts ar divķēžu līniju; c – 500 kV portāla tipa metāla balsts ar vienķēžu līniju; d – 220 kV dzelzsbetona starpbalsts ar vienķēžu līniju; e – 1150 kV portāla tipa metāla V-veida balsts ar atsaitēm un vienķēžu līniju; f – 110 kV dzelzsbetona starpbalsts ar divķēžu līniju; g – 500 kV dzelzsbetona portālbalsts ar atsaiti un vienķēžu līniju.

**Vadi gaisvadu līnijās.** Pārvaldes līnijās izmanto dažādu marku kailvadus. Vadi tiek izmantoti smagos darba apstākļos, un tiem jābūt ar augstu mehānisko izturību un aizsargātiem pret koroziju (11.3. att.).

- Vienkāršākie ir daudzstieplu tēraudalumīnija vadi (11.3. att. a). Ārējā daļā ir alumīnija dzīslas, bet iekšpusē tērauda dzīsla mehāniskai stiprībai.
- Spriegumiem sākot no 330 kV pielieto tēraudalumīnija vadus ar dielektriska pildījumu (11.3. att. b). Pie augstiem spriegumiem uz vada virsmas var rasties augsta elektriskā lauka intensitāte, kas savukārt var izsaukt elektrisko izlādi no vada gaisā (koronas izlāde). To novērš, mākslīgi palielinot vada diametru, nepalielinot tā svaru.
- Dobtos vadus (11.3. att. c) izmanto 220 – 330 kV apakšstacijās kā kopņu vadus. Tas saistīts ar virsmas efektu pie lielām strāvām.
- Sākot no 330 kV izmanto šķeltos vadus. Tie ir daudzstieplu tēraudalumīnija vadi (11.3. att. a), kuri sastāv no diviem vadiem vienā fāzē pie 330 kV sprieguma un no trim vadiem fāzē pie 500 kV sprieguma. Vadi savā starpā ir sastiprināti ar metāla starpliku 40 cm attālumā viens no otra.
- Viens no jauniem izstrādājumiem ir Aero Z tipa vads (11.3. att. d). To pielieto spriegumiem no 110 – 1150 kV. Vada iekšējais slānis ir no koncentriskiem apaļiem vadiem līdzīgi kā a variantā. Ārējais slānis sastāv no koncentriskām z veida alumīnija stieplēm. Visi tinumi ļoti cieši pieguļ viens otram, neļaujot mitrumam un agresīvai videi nokļūt iekšpusē. Ir iespējams arī variants, kad vienu no iekšējām dzīslām izveido kā dobtu vadu un tajā ievieto optiskās dzīslas.

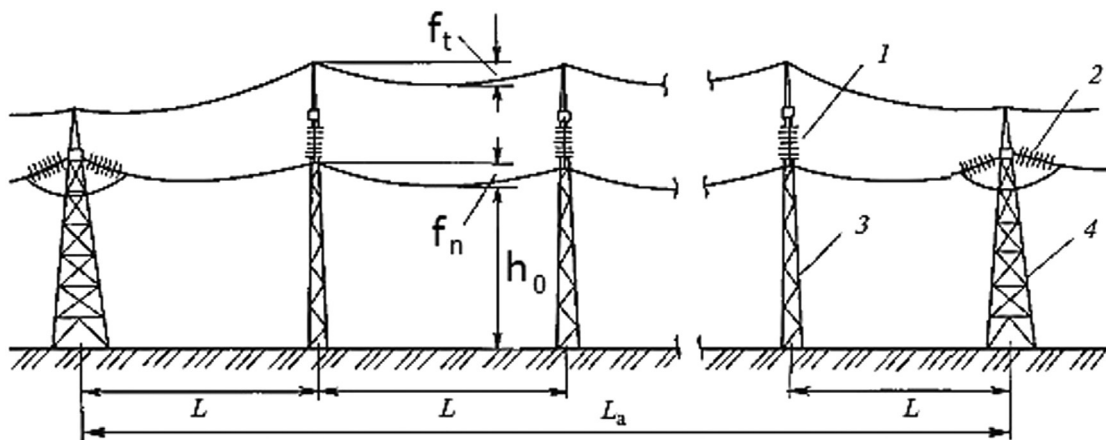


11.3. att. Pārvades tīklos izmantotie kailvadi:

*a – tēraudalumīnija vads; b – tēraudalumīnija vads ar dielektriķa pildījumu; c – dobtie vadi; c – Aero Z vads.*

**Gaisvadu līnijas raksturlielumi.** Apskatīsim galvenos raksturlielumus (11.4. att.).

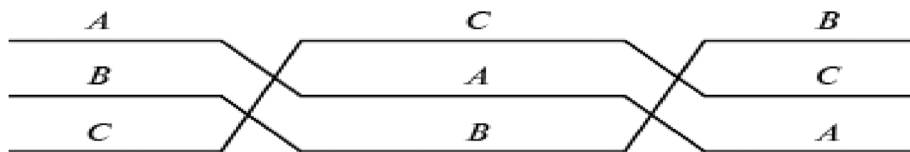
- Attālumu starp diviem balstiem ( $L$ ) horizontālā plaknē sauc par līnijas pārlaidumu;
- Attālumu starp diviem enkurbalstiem ( $L_a$ ) sauc par enkurbalstu pārlaidumu;
- Attālumu no vada viszemākā punkta līdz iedomātai horizontālai taisnei, kas savieno vada sākuma punktus, sauc par vadu nokari ( $f_n, f_t$ );
- Attālumu no vada viszemākā punkta līdz zemes virsmai pa vertikāli sauc par līnijas gabarītu līdz zemei ( $h_0$ );



11.4. att. Gaisvadu līnijas raksturlielumi:

*1 – piekargirlande; 2 – atsējgirlande; 3 – starpbalsts; 4 – enkurbalsts.*

- Gaisvadu līnijas asi (iedomāta, novilkta līnija) sauc par līnijas trasi.
- GPL ar spriegumu 110 kV un lielāku, kuras pārsniedz 100 km attālumu, līnijas vadiem attiecībā vienam pret otru un attiecībā pret zemi pastāv dažādas kapacitātes un induktivitātes. Lai to novērstu, vadu atrašanās vietas trīs reizes savstarpēji maina vietām. Tā katras fāzes vads visas līnijas garumā ir pabijis visos trijos izvietojumos un savstarpējās induktivitātes un kapacitātes ir izlīdzinājušās. To sauc par transpozīciju principu (10.5. att.). Balstus, kuros notiek vadu stāvokļu maiņa, sauc par transpozīcijas enkurbalstiem.



11.5. att. Transpozīcijas princips.

**Aizsargjoslas** gar elektriskajiem tīkliem tiek noteiktas, lai nodrošinātu elektrisko tīklu, to iekārtu un būvju ekspluatāciju un drošību. Aizsargjoslām ir šāds minimālais platums (Aizsargjoslu likums, 16. pants):

- Gar elektrisko tīklu gaisvadu līnijām ārpus pilsētām un ciemiem, kā arī pilsētu lauku teritorijās – zemes gabals un gaisa telpa, ko norobežo nosacītas vertikālas virsmas abpus līnijai:
  1. Gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu līdz 20 kilovoltiem – 6,5 metru attālumā no līnijas ass,
  2. Gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu 110 kilovoltu – 30 metru attālumā no malējiem vadiem uz ārpusi no līnijas,
  3. Gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu 330 kilovoltu – 30 metru attālumā no malējiem vadiem uz ārpusi no līnijas;
- Gar elektrisko tīklu gaisvadu līnijām pilsētās un ciemos – zemes gabals un gaisa telpa, ko norobežo nosacītas vertikālas virsmas abpus līnijai:
  4. Gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu līdz 20 kilovoltiem – 2,5 metru attālumā no līnijas ass,
  5. Gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu 110 kilovoltu – 7 metru attālumā no malējiem vadiem uz ārpusi no līnijas,
  6. Gaisvadu līnijām ar nominālo spriegumu 330 kilovoltu – 12 metru attālumā no malējiem vadiem uz ārpusi no līnijas.

## 11.2. PĀRVADES TĪKLU KABEĻLĪNIJAS

Šajā kategorijā ir spēka kabeļi, kas paredzēti 110 kV, 220 kV, 330 kV, 400 kV un 500 kV lielam spriegumam.

110 – 330 kV sprieguma kabeļu līnijas apkalpe jāveic saskaņā ar iekārtas ekspluatācijas instrukciju. Katras kabeļu līnijas pamatdokuments ir līnijas pase, kurā ieraksta ekspluatācijas gaitā protokolos fiksētos mērījumu un pārbaužu rezultātus (LEK 002).

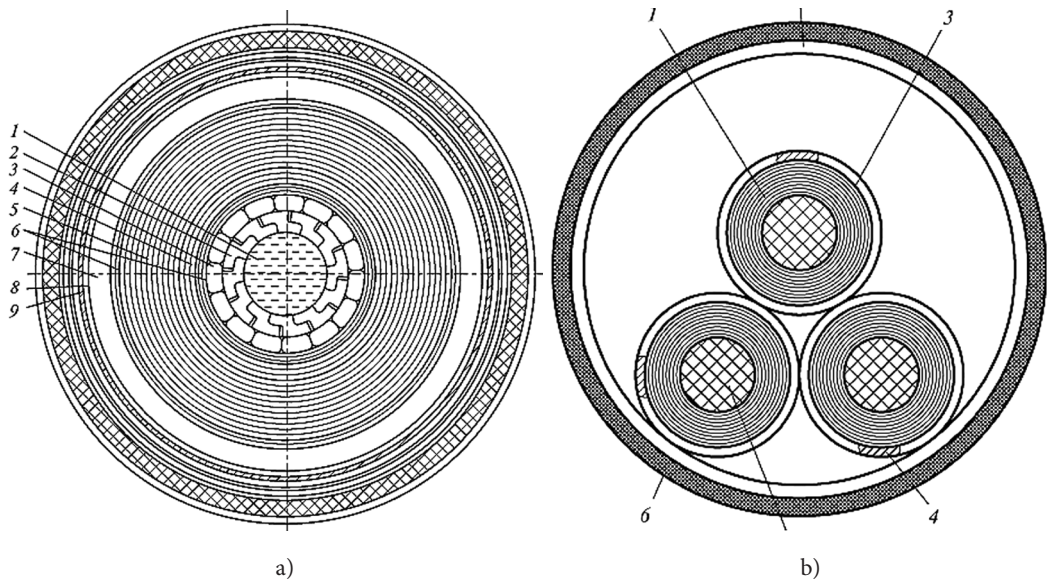
**Kabeļlīniju aizsargjoslām** gar elektriskajiem tīkliem ir šāds minimālais platums:

- Gar elektrisko tīklu kabeļu līnijām – zemes gabals un gaisa telpa, ko norobežo nosacītas vertikālas virsmas kabeļu līnijas katrā pusē 1 metra attālumā no kabeļu līnijas ass. Ja kabelis atrodas tuvāk par 1 metru no ēkas vai būves, tad šajā kabeļa pusē aizsargjoslu nosaka tikai līdz ēkas vai būves pamatiem;
- Gar elektrisko tīklu kabeļu līnijām, kuras zem ūdens līmeņa šķērso virszemes ūdens objektus, – ūdens platība, ko visā dziļumā no ūdens virsmas līdz gultnei ietver paralēlas plaknes 100 metru attālumā katrā pusē no kabeļu līnijas ass;
- Ap elektrisko tīklu sadales iekārtām, fideru punktiem un transformatoru apakšstacijām – zemes gabals un gaisa telpa, ko norobežo nosacīta vertikāla virsma 1 metra attālumā ārpus šo iekārtu nožogojuma vai to vistālāk izvirzīto daļu projekcijas uz zemes vai citas virsmas.

**Kabeļlīniju trases** ir 2 metrus platā joslā. Kabeļi var būt viendzīslas, divdzīslu un četrdzīslu izpildījumā. Ieguldīšanas veids var būt zemē, ūdenī, gaisā un telpā. Kabeļus var iedalīt trīs tipos:

- Kabeļi ar piesūcināta papīra izolāciju (ekspluatācijā vēl atrodas, bet no jauna tādi vairs netiek izbūvēti. Lietoja 6 – 20 kV sprieguma kabeļlīnijās);
- Eļļpildītie un gāzpildītie kabeļi (ekspluatācijā vēl atrodas, bet no jauna tādi vairs netiek izbūvēti. Pielietoja 110 – 500 kV sprieguma kabeļlīnijās);
- Kabeļi ar plastmasas izolāciju (šāda tipa kabeļi tiek lietoti mūsdienās).

**Elļpildītie kabeļi** iedalījās zemspiediena un augstspiediena kabeļos (11.6. att.). Zemspiediena kabeļus izmantoja 110 – 220 kV nominālā sprieguma kabeļlīnijās, bet augstspiediena kabeļus izmantoja 110 – 500 kV nominālā sprieguma kabeļlīnijās.



11.6. att. a – 110 kV zemspiediena elļpildīts kabelis.

1 – elļas kanāls; 2 – Z veidīga strāvvadošā dzīslā; 3 – segmentveidīga strāvvadošā dzīslā; 4 – speciāli piesūcināta papīra lentā; 5 – papīra džutas slānis; 6 – ekrāns; 7 – svina apvalks; 8 – tērauda lentas bruņa; 9 – aizsargpārklājums;

b – augstspiediena elļpildīts kabelis.

1 – papīra izolācija; 2 – tērauda caurule; 3 – ekrāns no kapara lentas; 4 – kapara vads;  
5 – strāvu vadošā dzīslā; 6 – antikorozijas pārklājums.

Izolācijas līmeni nodrošina ar elļu piesūcināta papīra izolācija. 110 kV zemspiediena kabelis ir vienfāzes izpildījuma. Elļa tiek padota pa speciālu kanālu kabeļa vidū ar spiedienu 0,1 MPa. Augstspiediena kabeļi elļas spiediens ir 1,1 – 1,5 MPa, tur ārējais apvalks ir tērauda caurule. Elļas spiediens, līmenis un temperatūra tiek pastāvīgi kontrolēta. Ar elļu pildītus kabeļus avārijas gadījumā ir pieļauts pārslogot, bet ne vairāk kā 100 stundas gadā. Turklāt kabeļu dzīslu temperatūra nedrīkst pārsniegt +80°C, bet ilgstoši pieļaujamā temperatūra normālā darba režīmā ir +70°C.

**Kabeļi ar plastmasas izolāciju** tiek plaši pielietoti visos no jauna būvētos un rekonstruētos objektos. Kā plastmasas izolāciju izmanto polietilēnu XLPE, termoplastisko polietilēnu PE, polivinilhlorīda plastikātu PVC un vēl citus materiālus. Kā vizuālais piemērs ir parādīts plašāk pielietojamais XLPE plastmasas izolācijas kabelis (11.7. att.).



11.7. att. 110 kV kabelis ar XLPE izolāciju.

1 – strāvas vadītājs; 2 – sasaistošās lēntas; 3 – vadītāja ekrāns; 4 – XLPE izolācija; 5 – izolācijas ekrāns; 6 – vadošās lēntas ekrāns; 7 – blīvējošā lēnta; 8 – metāliskais ekrāns; 9 – atdalošā lēnta; 10 – aptverošā alumīnija lēnta; 10 – PVC ārējā čaula.

Kabeļiem ar plastmasas izolāciju ir daudz priekšrocību, salīdzinot ar eļļpildītiem kabeļiem:

- Viegļāk uzstādāmi un bojājuma gadījumā viegļāk un ātrāk remontējami;
- Nav vajadzīga eļļas saimniecība apkalpošanai un papildus aizsardzības;
- Ekoloģiskāki un videi draudzīgāki.

Plastmasas izolācijas kabeļu līnijas pārslodzi avārijas gadījumā nosaka, reizinot ilgstoši pieļaujamo slodzi ar koeficientu 1,17. Pārslodzes ilgums nedrīkst pārsniegt 100 stundas gadā. Turklāt īslaicīgas pārslodzes laikā dzīslu temperatūra nedrīkst pārsniegt  $+130^{\circ}\text{C}$ , bet ilgstoši pieļaujamā temperatūra normālā darba režīmā ir  $+90^{\circ}\text{C}$ .

### 11.3. JAUTĀJUMI PAŠKONTROLEI

1. Ar ko atšķiras gaisvadu elektropārvades līnijas no kabeļu elektropārvades līnijām?
2. Ko sevī ietver gaisvadu līniju ekspluatācijas darbi?
3. Nosaukt galvenos GPL konstruktīvos elementus.
4. Kādas konstrukcijas ir gaisvadu līniju balstiem?
5. Kādas konstrukcijas ir gaisvadu līniju vadiem?
6. Ko sauc par līnijas trasi?
7. Kas ir vadu nokare?
8. Kas ir līnijas gabarīts no zemes?
9. Kas ir līnijas pārlaidums un kas ir enkurbalsta pārlaidums?
10. Kas ir transpozīcijas princips?
11. Ko nozīmē aizsargjosla un ko nozīmē trašu platumi?
12. Nosaukt aizsargjoslu un trašu platumus 110 kV GPL.
13. Nosaukt aizsargjoslu un trašu platumus 330 kV GPL.
14. Nosaukt aizsargjoslu un trašu platumus KPL.
15. Kāda tipa kabeļi tiek pielietoti pārvades līnijās?

## 12. PĀRVADES TĪKLU PĀRSPRIEGUMU AIZSARDZĪBA

### 12.1. PĀRSPRIEGUMU VEIDI

Par *pārspriegumu* sauc īslaicīgu sprieguma palielināšanos tīklā virs nominālā lieluma. Iedalās:

**Atmosfēras pārspriegumi.** Tos izraisa zibens izlādes. Var būt *tiešie* zibens spērieni, kas izraisa *termiskos* (lielas strāvas iedarbībā) un *mehāniskos* (caursītot izolāciju un sagraujot iekārtu) bojājumus. Var būt *sekundārā* zibens iedarbība, kad zibens spērieni (izlāde) notiek iekārtas tiešā tuvumā. Šajā gadījumā bojājumi var rasties trīs veidos. Pirmais ir *elektromagnētiskā indukcija*, kad zibens izlādes rezultātā rodas elektromagnētiskie viļņi, kas, šķērsojot EPL vadus, tajos inducē EDS. Otrs ir *elektrostatiskā indukcija*, kad starp negaisa mākoņiem un zemi vai virsmu sāk uzkrāties elektriskie lādiņi. Tie ir vienādi ar zibens lādiņu lielumu, bet pretēji pēc zīmes. Sasniedzot pietiekami augstu vērtību, var notikt izlāde caur tuvumā esošām metāla konstrukcijām. Lai to novērstu, ir jāveic potenciāla izlīdzināšana. Trešais ir *augsta potenciāla "ienešana" būvē, iekārtā*. Tas var notikt caur metāliskām komunikācijām (kabeļi, vadi, cauruļvadi). Tātad jānodrošina šo iekārtu saņemšana.

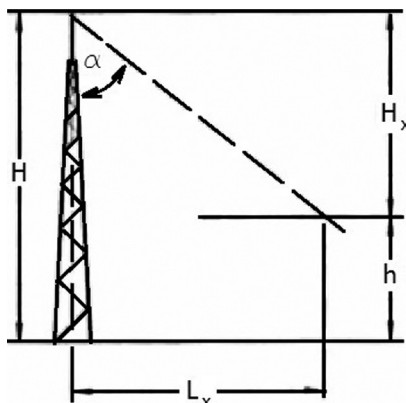
**Komutācijas pārspriegumi.** Šāda tipa sprieguma paaugstināšanās ir saistīta ar iekārtas ieslēgšanas un izslēgšanas procesiem gan normālā, gan avārijas režīmā – piemēram, no viena gala atslēgtas garas elektropārvades līnijas ar lielu kapacitāto vadītspēju (kabeļu līnijas). Sevišķi bīstams ir vienas fāzes zemesslēgums ar intermitējošu loku tīklos ar izolētu vai kompensētu neitrāli. Tas gan vairāk attiecas uz sadales tīkliem.

**Rezonanses pārspriegumi.** Saistīti ar to, ka elektriskās sistēmas satur daudz induktīvo un kapacitāto elementu un pie noteiktiem apstākļiem var izveidoties svārstību kontūrs un spriegums var sasniegt seškārtīgu fāzes spriegumu. Piemēram, rezonansi var izraisīt no viena gala atslēgtas elektropārvades līnijas kapacitātes un šuntējošo reaktoru induktivitātes attiecība. Sprieguma paaugstināšanās izsauc magnētiskās indukcijas pieaugumu transformatora magnētiskajā ķēdē, kas izsauc magnetizēšanas strāvas un virpuļstrāvas pieaugumu. Šīs strāvas sakarsē transformatora tinumus un serdi, kas var izraisīt tinuma izolācijas bojāšanos.

Komutācijas un rezonanses pārspriegumus sauc par *iekšējiem pārspriegumiem*. Jo augstāks ir elektropārvades tīkla spriegums, jo būtiskāka nozīme ir iekšējiem pārspriegumiem.

### 12.2. AIZSARDZĪBA PRET TIEŠIEM ZIBENS SPĒRIENIEM

Ārēju elektroiekārtu (apakšstaciju) aizsardzībai no tiešiem zibens spērieniem izmanto *stienveida zibensnovedējus*. To konstrukcija ir vienkārša: zibens uztvērējs (1), balstkonstrukcija (2), zemētājvads (3) un zemētājs (4) (12.1. att.). Stienveida zibensnovedēji var būt gan viens, gan vairāki, ar aprēķinu, lai objekts būtu aizsargāts.



12.1. att. Stienveida zibens uztvērējs.

$H$  – zibensnovedēja augstums;  $h$  – aizsargājamā objekta augstums;  $L_x$  – aizsargājamās zonas rādiuss;  
 $H_x$  – zibensnovedēja augstums virs aizsargājamā objekta.





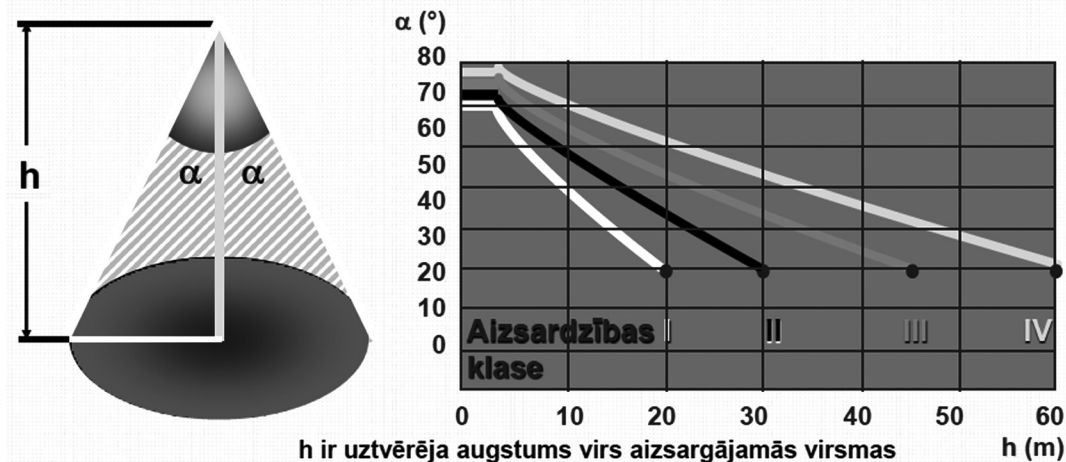
12.2. att. Trosveida zibens novadītājs.

**Trosveida zibensnovedēji.** Kopnes, apakšstacijas un elektropārvades līnijas (EPL) aizsargā ar *trosveida zibensnovedējiem* (12.2. att.). Konstrukcija ir tāda pati kā stieņveida zibensnovadītājiem, vienīgā atšķirība ir tā, ka virs objekta kā zibens uztvērējs ir nostiepta trosē. 110 un 330 kV gaisvada EPL, virs līnijas vadiem visā garumā tiek novilkta zemēta vairākdzīslu tērauda trosē, kura pilda zibens uztvērēja funkcijas. Minimālajam troses šķēsgriezumam ir jābūt  $s \geq 35 \text{ mm}^2$ . Trosi stiprina, izmantojot piekarizolatorus, kurus šuntē ar  $40 \pm 2 \text{ mm}$  dzirksteļspraugu. Piekarizolatoru stiprinājumus zemē. Trosveida zibensnovadītāji nav tik droši kā stieņveida, tāpēc reizēm izmanto *kombinētos zibensnovedējus*, kuros ir apvienoti abi iepriekšminētie varianti.

**Sietveida zibensnovedēji.** Tos izmanto ēkām ar plakaniem vai strāvu vadošiem jumtiem. Zibens uztvērējs ir kā metālisks tīkls virs objekta. Tīkla rūts lielums ir atkarīgs no objekta bīstamības klases.

Pārvades tīkli ir kompleksi objekti, un tie ietver gan ēkas (iekštipa sadalnes, brīvgaisa sadalnes), gan EPL. Tādēļ, projektējot zibens aizsardzību, ir jāņem vērā visi šie faktori. Atbilstoši Latvijas būvnormatīviem, ir noteiktas četras zibens aizsardzības sistēmu klases ar dažādiem zibens aizsardzības drošības līmeņiem. Objektu drošuma pakāpi izsaka aizsargātības varbūtības teorija. Šeit tiek ņemts vērā iespējamais zibens trāpījumu skaits gadā. Ir izdalītas divas drošuma pakāpes "A" un "B". Pirmajā gadījumā varbūtējā aizsardzības pakāpe ir 99,5%, bet otrā gadījumā tā var tikt samazināta līdz 95%.

**Aprēķina metodes.** Stieņveida zibensnovedēja aprēķināšanai izmanto *leņķa metodi* (12.3 att.). Jebkurš uztvērējs veido aizsargzonu, kuru tas pārklāj. Jo zemāks ir objekta drošības līmenis, jo zona ap uztvērēju ir platāka un leņķis  $\alpha$  ir lielāks. Aizsargzona veidojas kā konuss, ar augstumu un pamata rādiusu.



12.3. att. Aizsargleņķa metode:

*stieņveida zibensnovedēja augstuma (h) un aizsardzības pārklājuma leņķa ( $\alpha$ ) atkarība no zibens aizsardzības klases.*

Tiek uzskatīts, ka elektrosistēmās aizsardzības pakāpes varbūtība 99,5% ir pietiekama. Atgriežoties pie 12.1. att. redzam, ka aizsargzona ir konuss, un aizsargājamam objektam jāatrodas šī konusa iekšpusē. Cik augstam ir jābūt zibens uztvērējam, šajā gadījumā varam noteikt pēc sekojošas attiecības:

$$H_x = 0,85H$$

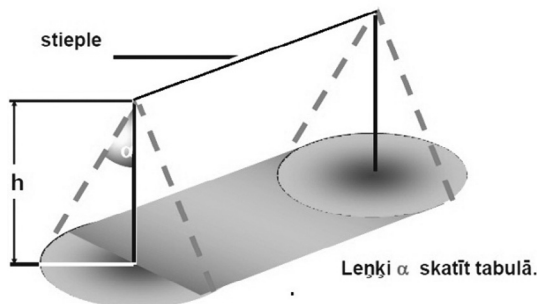


Ārtipa sadalnes forma mēdz būt kvadrāta vai taisnstūra, un zibens aizsardzības drošumam ir vajadzīgi vairāki zibensnovēdēji. Aizsargājамie objekti ar augstumu  $h$  ir droši, ja aizsargātās platības diametrs vai četrstūra diagonāle  $D$  ir:

$$D \leq 8 (H - h)p,$$

Kur  $p$  – koeficients, kura vērtība = 1, ja  $H \leq 30\text{m}$  un kura vērtība =  $5,5\sqrt{h}$ , ja  $H > 30\text{m}$ .

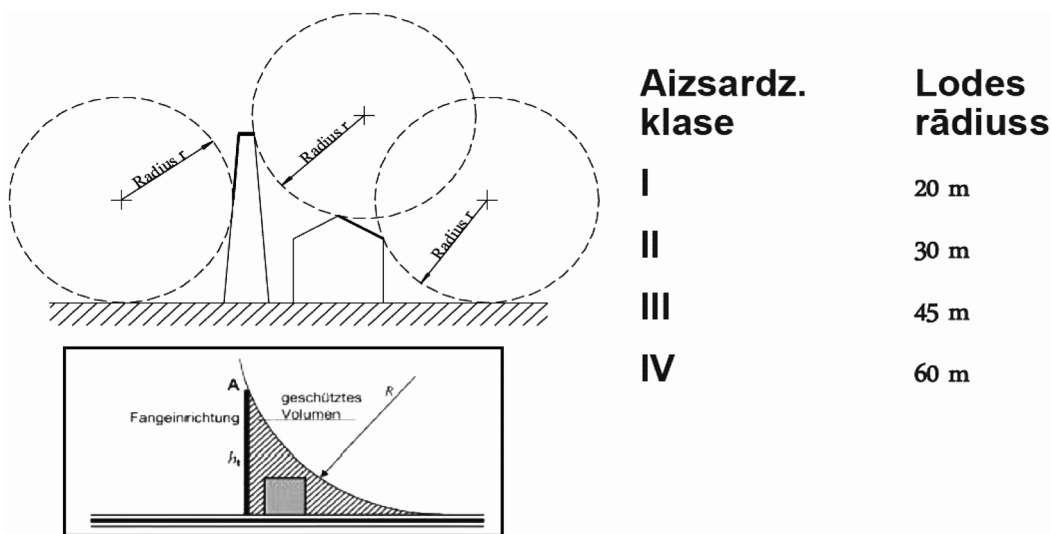
Aprēķinot EPL trosveida zibens novadītāja aizsargzonu, arī izmanto leņķa metodi (12.4. att.):



12.4. att. Trosveida zibensnovadītāja aizsardzības zona.

Ja līnija ir uz vienstatņa balstiem, izmanto vienu trosi, ja līnija ir uz divstatņu balstiem ar horizontālu vadu izvietojumu, uzstāda divus trosveida zibensnovadītājus. Trosei pieļaujamā nokare ir mazāka nekā vadiem EPL. Jāievēro drošie attālumi gaisā no zibensnovēdējiem līdz sadalnes elementiem un zemē no zemējumiem līdz sadalnes konstrukcijām (ne mazāk par 3m).

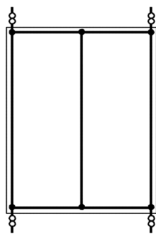
Ja aizsargājамais objekts ir sarežģītas konstrukcijas, vai veido atsevišķas konstrukcijas uz ēku jumtiem, tad aizsargzonas aprēķiniem izmanto lodes metodi (12.5. att.).



12.5. att. Zibenslodes metode.

Tā ir visprecīzākā metode. Iedomāta lode tiek velta pa zemi un objektu visos iespējamajos virzienos. Neviens aizsargājамās telpas punkts nedrīkst pieskarties iedomātajai lodei. Lodes rādiuss ir atkarīgs no aizsardzības klases, bet maksimālais augstums, kuram var pielietot šo metodi, ir 60 m. Lode drīkst pieskarties tikai zemei un uztvērējelementiem.

Sietveida zibens novadītāju aizsargzonas aprēķināšanai izmanto tīkla metodi (12.6. att.). Metāla tīkla rūšu izmērs ir atkarīgs no aizsardzības klases.



Aizsardz. klase

Tīkla izmēri

I

5 m x 5 m

II

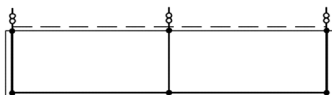
10 m x 10 m

III

15 m x 15 m

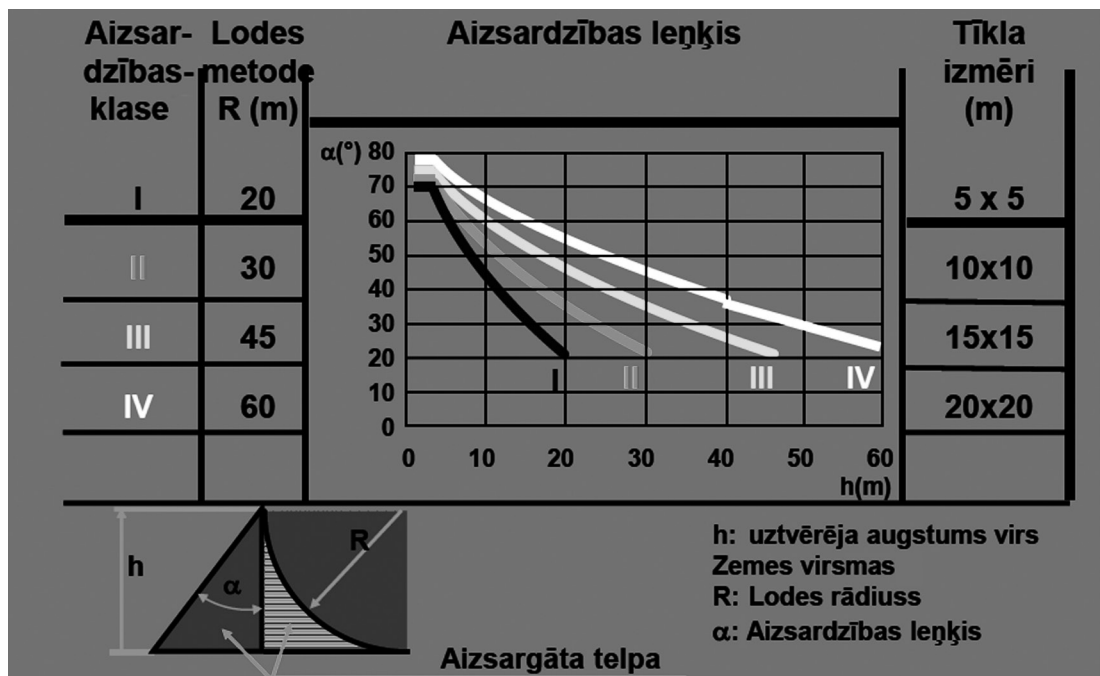
IV

20 m x 20 m



12.6. att. Aizsargtīkla metode.

Praksē bieži ir jāpielieto kombinētā metode, kad jāpielieto divas vai pat visas trīs metodes. Visu trīs aprēķina metožu kopsavilkums ir dots 12.7. att..



12.7. att. Apvienotā tabula aizsardzības zonas aprēķinam pēc trim minētajām metodēm.

## 12.3. PĀRSPRIEGUMA AIZSARDZĪBA

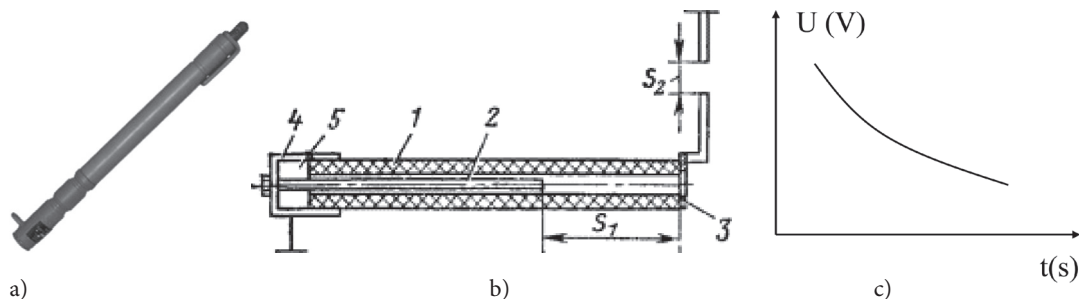
Ar zibens novadītājiem elektroiekārtas var aizsargāt tikai no tiešiem zibens spērieniem. Zibens spērienam notiekot kādā konstrukcijas elementā vai tā tuvumā, rodas elektromagnētiskie viļņi, kuri izplatās elektriskajos tīklos un var izsaukt tīklu vai elektrisko iekārtu bojājumus. Atmosfēras pārspriegumu rašanās ir viens no galvenajiem atteižu iemesliem energosistēmās. Otrs pārspriegumu rašanās iemesls ir iekšējie pārspriegumi. Lai novērstu iespējamus bojājumus, ir mākslīgi jāsamazina pārsprieguma viļņu amplitūda. Šos pasākumus sauc par izolācijas koordināciju. Tas nozīmē, ka jāizvērtē vājākie ķēdes posmi un tie jāaizsargā ar pārsprieguma novadītājiem. Aizsargiekārtu izvietojumam ir izstrādāti normatīvi, bet pētījumi par pārspriegumu procesiem turpinās, un standartizēšana nepārtraukti pilnveidojas. Atkarībā no nominālā sprieguma lieluma izolācijas koordinācijas metodēm ir trīs klases:

- Spriegumam no 1 – 52 kV;
- Spriegumam no 52 – 245 kV;
- Spriegumam no 300 kV un lielākam.

Visām klasēm ir pieļaujamie pārsprieguma līmeņi, kas tiek ņemti vērā pie konkrētu iekārtu izgatavošanas.

## 12.4. CAURUĻIZLĀDŅI

Uz elektropārvades līnijām izolācijas aizsardzībai izmanto *cauruļizlādņus* (11.8. att. a).



12.8. att. a – 110 kV cauruļizlādņa PTB-110-2,5/12,5 Y1 ārējais izskats;

b – cauruļizlādņa principiālā shēma;

c – voltsekunžu raksturlikne;

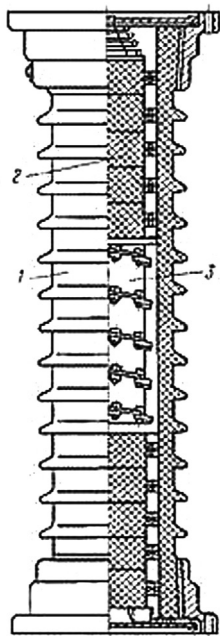
1 – fibrobakelīta vai vinilplasta gāzģenerējoša caurule; 2 – stienveida elektrods; 3 – gredzenveida elektrods; 4 – zemēšanas elektrods; 5 – telpa gāzes spiediena radišanai.

Apskatīsim cauruļizlādņa darbības principu (12.8. att. b). Normālā darba režīmā cauruļizlādņš no līnijas ir atdalīts ar ārējo dzirksteļstarpu  $S_2$ . Parādoties noteikta lieluma pārspriegumam, ārējā dzirksteļstarpa  $S_1$  un iekšējā dzirksteļstarpa  $S_2$  tiek caursistas. Strāvas impulss caur stienveida elektrodu plūst uz zemi. Starp elektrodiem 2 un 3 veidojas elektriskais loks, kas sakarsē gāzģenerējošo cauruli 1. Radušās gāzes izspiež loku no caurules, tādā veidā to pagarinot un dzesējot. Brīdī, kad strāva iet caur nulles vērtību, notiek elektriskā loka dzēšana. Telpā 5 elektriskā loka degšanas laikā uzkrājas saspīestas gāzes rezerve un brīdī, kad strāva iet caur nulles vērtību, notiek gāzes “izpūšana”, kas nodrošina efektīgu loka nodzēšanu. Gāzes “izpūšanu” pavada skaņas efekts. PTB-110 tipa cauruļizlādņim “izpūšanas” vietā ir konusveida izvads un pie uzstādīšanas ir jāņem vērā, lai izvada virzienā neatrastos kādas iekārtas elementi.

Cauruļizlādņu raksturojošais lielums ir voltsekunžu raksturlikne un zemētājpretestība. Tie ir lielumi, kas nosaka aparāta aizsargājošo darbību. Voltsekunžu raksturliknes ir ļoti stāvas (12.8. att. c) un tās ir grūti saskaņot ar elektrisko aparātu izolācijas voltsekunžu raksturliknēm. Aparātu liknēm jāatrodas zem izlādņu liknēm, pretējā gadījumā iekārta var tikt bojāta. Tāpēc pie apakšstacijām šāda tipa izlādņus neizmanto. Pie izvēles vēl ir jāaprēķina minimālā un maksimālā īsslēguma strāva, pēc kurām attiecīgi izvēlas atbilstošo cauruļizlādņi. Jaudīgākie spēj atslēgt līdz 20 kA lielu pavadstrāvu. Spriegumam ir jāatbilst tīkla spriegumam.

## 12.5. VENTIĻA TIPĀ PĀRSPRIEGUMA NOVADĪTĀJI

Ventiļa tipa pārsprieguma novadītājus izmanto līniju sadales ietaišu un transformatoru aizsardzībai gan no atmosfēras pārspriegumiem, gan no iekšējiem pārspriegumiem. Pamatsastāvdaļas (12.9. att.) ir porcelāna apvalks, vairākkārtīgas dzirksteļstarpas un nelineārs rezistors, kuru veido no vilīta diskiem. Darbības princips balstās uz to, ka dzirksteļstarpas veicina elektriskā lauka izlīdzināšanu un lēzenāku voltsekunžu raksturlielnes iegūšanu. Nelineārās pretestības īpašība ir tāda, ka paaugstinoties spriegumam, tā pretestība strauji samazinās. Pārsprieguma gadījumā strāvas impulss sākumā caursit dzirksteļstarpas, kur elektriskajam lokam pretestības praktiski nav un viss spriegums tiek pielikts nelineārajai pretestībai. Pretestība strauji samazinās, un strāvas impulss noplūst uz zemi. Paliekošais spriegums nepaaugstinās virs nominālā. Pēc strāvas impulsa seko līnijas nominālā sprieguma radītā pavadstrāva, kas pēc lieluma ir mazāka. Nelineāram rezistoram pretestība strauji pieaug un dzirksteļstarpas dzēš pavadstrāvas radīto elektrisko loku.



12.9. att. PBMF tipa (110 – 500 kV) ventiļa pārsprieguma novadītāja pamatelementi:

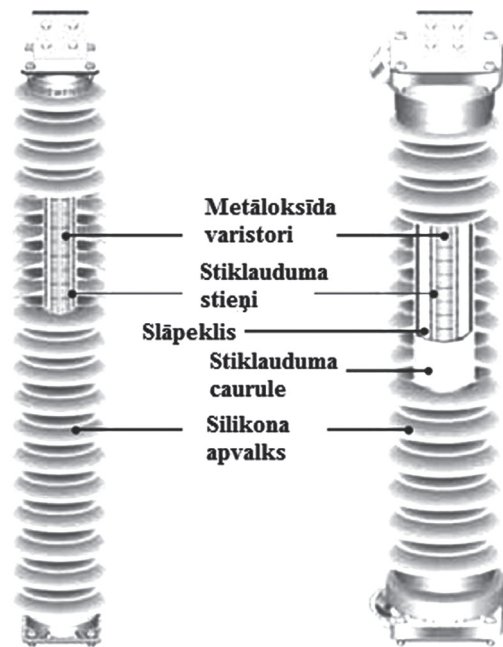
1 – porcelāna apvalks; 2 – nelineāru rezistoru bloks; 3 – dzirksteļstarpas bloks.

Nelineārajiem rezistoriem ir caurplūstošās strāvas ierobežojums, tāpēc uz līnijām atmosfēras pārsprieguma radītā strāvas impulsa slāpēšanai izmanto caurvilzīdāņus.

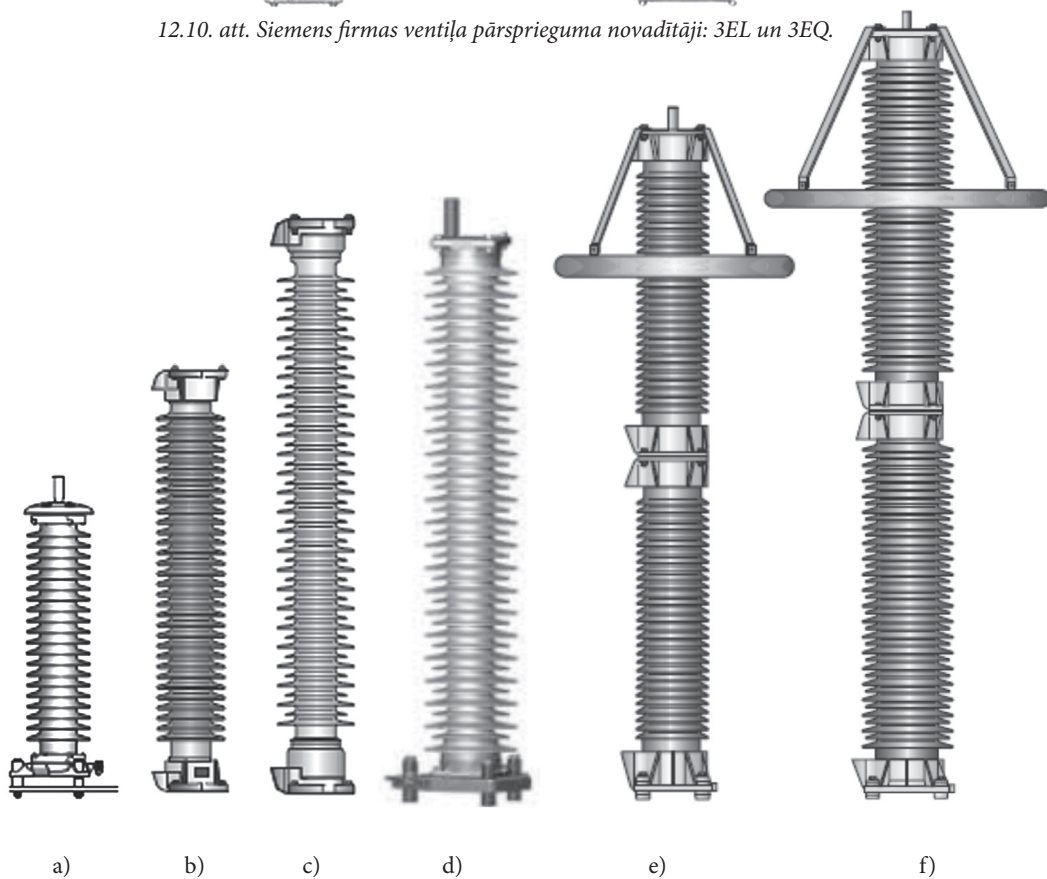
Piemērā (12.9. att.) PBMF ir magnētiskais ventiļa pārsprieguma novadītājs. Atšķirība ir tāda, ka parasto dzirksteļstarpu vietā ir dzirksteļstarpa ar magnēta gredzenu. Šajā gadījumā elektriskais loks magnētiskā lauka iespaidā sāk griezties ar lielu ātrumu un tiek nodzēsts efektīvāk, salīdzinot ar parasto ventiļu novadītāju.

Visiem ventiļizlādņiem jābūt uzstādītam nostrādes reižu skaitītājam. Katru gadu pirms negaisa sezonas ir jāpārbauda sadales ietaišu un līniju pārspriegumu aizsardzības stāvoklis. Ārkārtas apskates jāveic pēc intensīvas zibens darbības. Ventiļizlādņiem profilaktiskās pārbaudes jāveic ne retāk kā reizi 6 gados.

Jauns pavērsiens pārspriegumu novadītāju attīstībā bija metāla – oksīda varistoru izstrāde, kuri nomainīja iepriekšējos nelineāros rezistorus (vilīta un tervīta). Tas deva iespēju atteikties no dzirksteļstarpām. 12.10. att. ir piemērs firmas Siemens izstrādātiem jaunās paaudzes pārsprieguma novadītājiem ar metāloksīda varistoriem, silikona apvalku un slāpekli novadītāja iekšpusē.

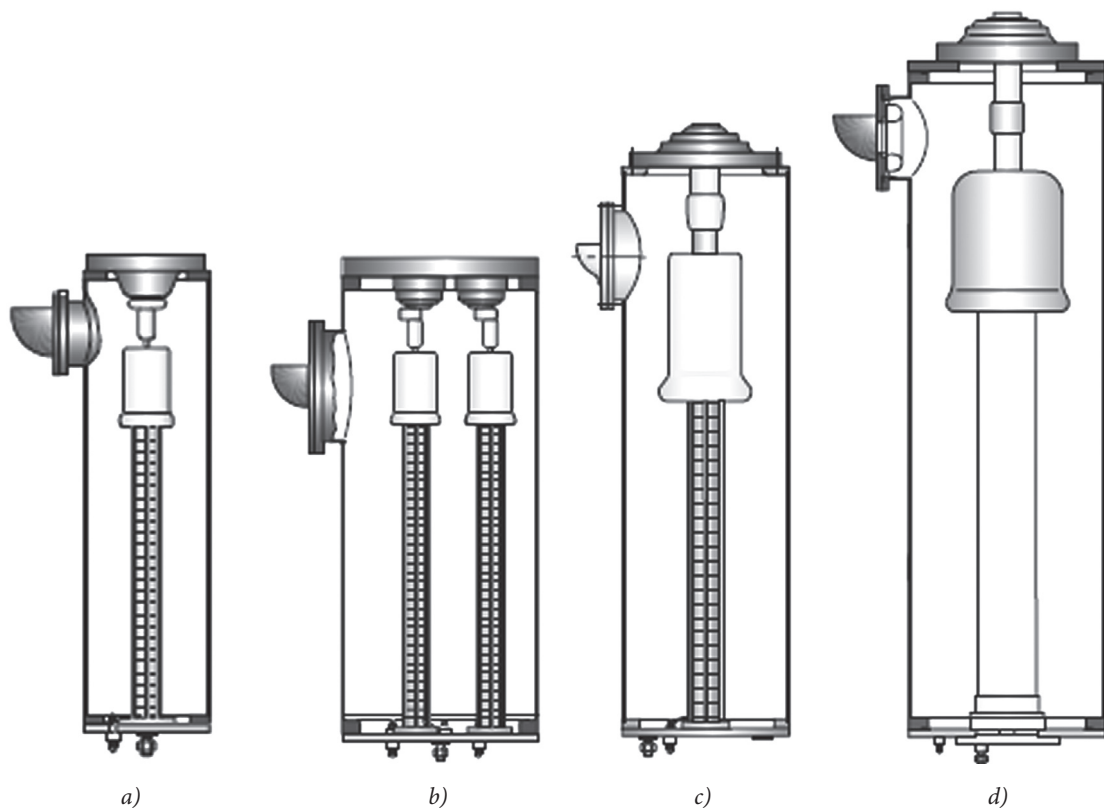


12.10. att. Siemens firmas ventiļa pārsprieguma novadītāji: 3EL un 3EQ.



12.11. att. Firmas Siemens pārsprieguma novadītāji:

a – 3EP5 (110 kV, uzstādīšanai atklātās sadaliekārtās); b – 3EP4 (345 kV, uzstādīšanai atklātās sadaliekārtās);  
c – 3Q1 (345 kV, uzstādīšanai atklātās sadaliekārtās); d – 3EL2 (500 kV, uzstādīšanai apakšstacijās un uz EPL);  
e – 3EP2 (500 kV uzstādīšanai atklātās sadaliekārtās); f – 3EP3 (765 kV uzstādīšanai atklātās sadaliekārtās, līdzstrāvas EPL un statiskos kompensatoros).



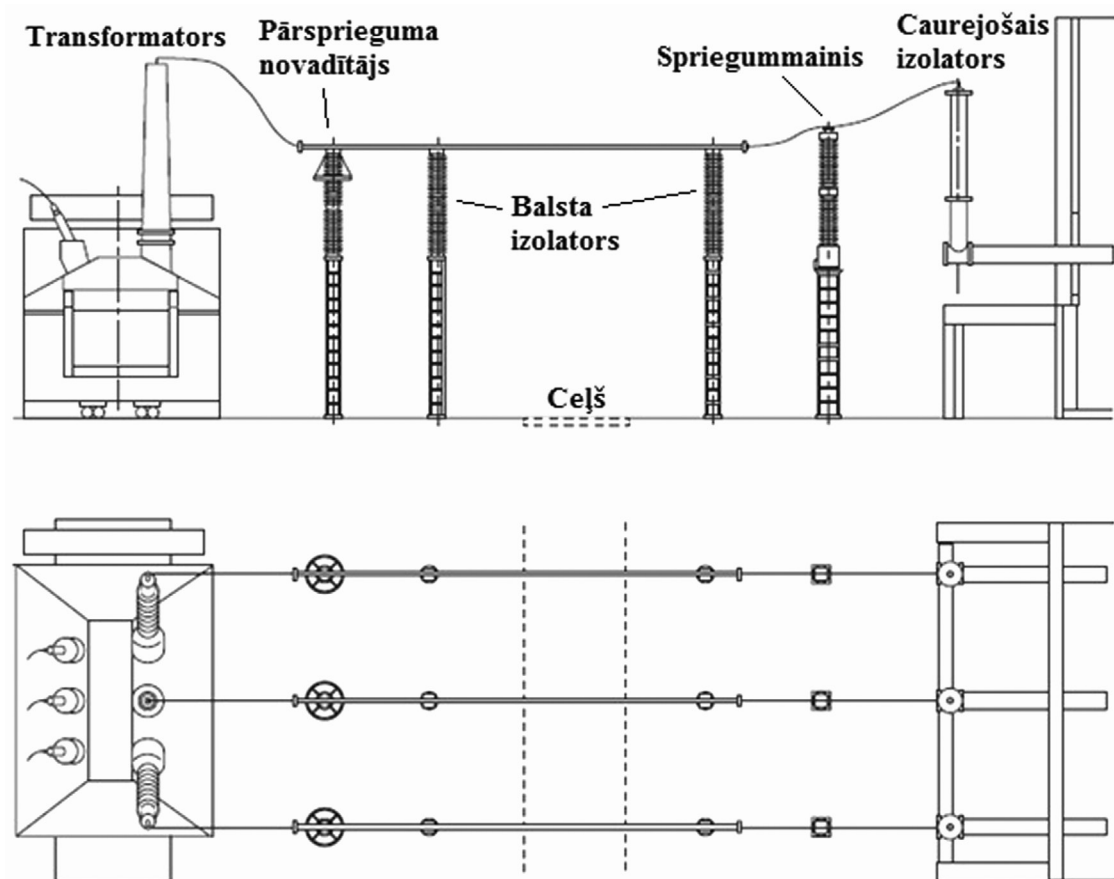
12.12. att. Firmas Siemens pārsprieguma novadītāji metāla korpusā komplektās apakšstacijās ar gāzes izolāciju:

a – 3ELS-D/3ES2 – E (150/220 kV, vienfāzes);

b – 3ES5-B/C (150 kV, trīsfāžu);

c – 3ES5-F/3ES5-G/3ES5-H (220/345/525 kV, vienfāzes);

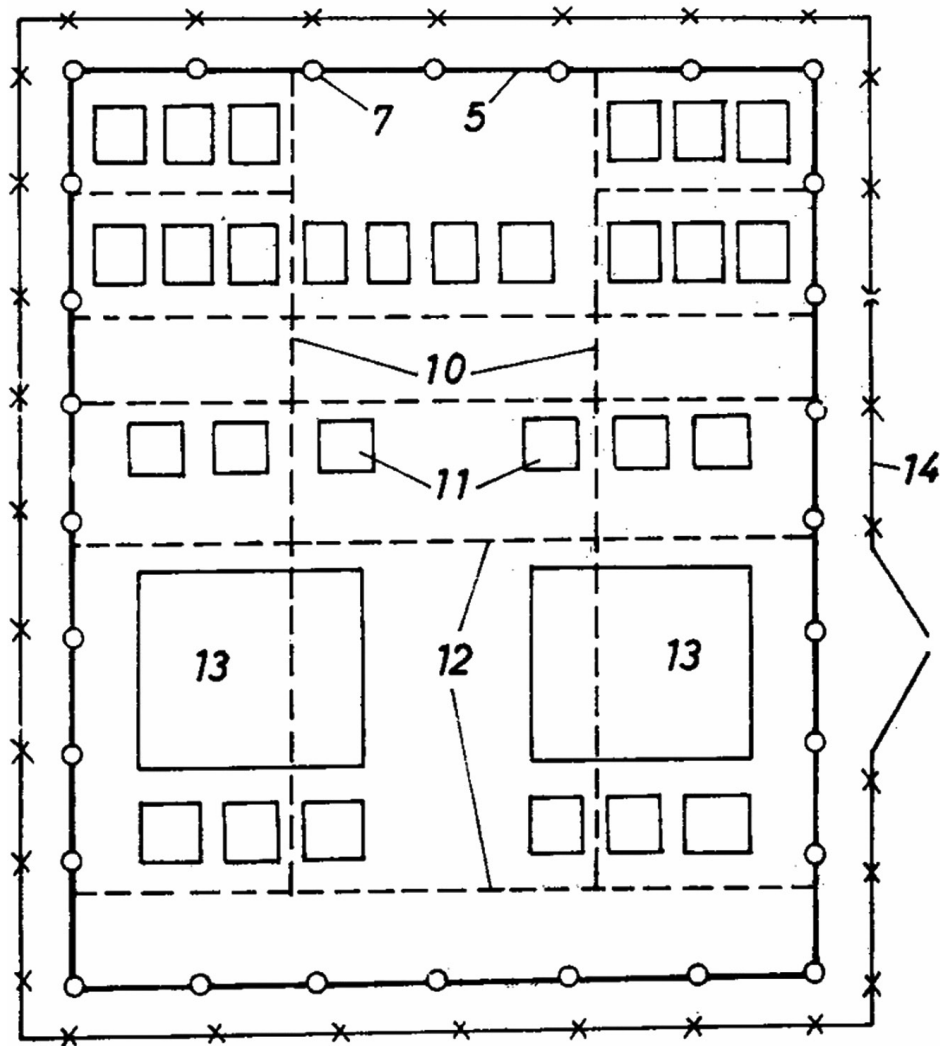
d – 3ES9-J (765 kV, vienfāzes).



12.13. att. Spriegummaiņa atrašanās vietas piemērs AS.

## 12.6. ZIBENSNOVEDĒJU ZEMĒŠANA APAKŠSTACIJĀ

110 kV un augstāka sprieguma sadalnēs ierīko kombinētos zemētājus, kas sastāv no horizontālām zemē novietotām sloksnēm ar savstarpējo attālumu 6 – 10 m un papildus piestiprinātiem vertikāliem zemē iedzītiem elektrodiem. Sadalnēs zemējumpretestība nedrīkst būt lielāka par  $0,5 \Omega$  (12.4. att.).



12.4. att. Apakšstacijas zemējumietais konstruktīvais izveidojums: 5 – tērauda loksne vertikālo elektrodu savienošanai (horizontālais elektrods), 7 – vertikālais elektrods, 10 – potenciālu izlīdzinošās tīkla šķērsloksnes (horizontālie šķērselektrodi), 11 – augstsprieguma aparāti, 12 – potenciālu izlīdzinošās tīkla garenloksnes (horizontālie šķērselektrodi), 13 – spēka transformatori, 14 – žogs.

Zibensnovedēja zemējumpretestību parasti savieno ar apakšstaciju zemējumu kontūru. Savienojumam jābūt metinātam. Savienojumi ar aparātiem, mašīnu korpusiem un līniju balstiem var būt metināti, ar skrūvju vai spaiļu savienojumu. Kontūrs atrodas zemē 0,6 – 0,7 m dziļumā. Zemētājevadi, kas ir novietoti atklāti, ir jākrāso melnā krāsā. Zibensnovedēji var būt uzstādīti uz sadalnes portāliem. Ja grunts īpatnējā pretestība  $\leq 1000 \Omega \text{ m}$ , tad 110 kV sadalnēs jāuzstāda atsevišķi portāli. Sadalnēs no katra zibensnovedēja 3 – 5 m attālumā ir jābūt vienam vismaz 5 m garam vertikālam elektrodam. Transformatora zemējuma pievienojums maģistrālei nedrīkst būt tuvāk kā 15 m no zibensnovedēja.



# PIELIKUMI

## 1. Pielikums Nr.1 Papildus ziņas par standartiem un normatīvajiem dokumentiem

### 1.1. Latvijas Valsts Standarti

- 1.1.1. Elektroenerģijas ražošana, pārvade un sadale.
  - 1.1.1.1. LVS IEC 50-601:1985 – Vispārīgie termini;
  - 1.1.1.2. LVS IEC 50-603:1986 – Energosistēmu attīstības un vadības plānošana – Starptautiskā elektrotehniskā vārdnīca;
  - 1.1.1.3. LVS IEC 50-604:1987 – Elektroietaišu ekspluatācija;
  - 1.1.1.4. LVS IEC 50-605:1983 – Elektriskās apakšstacijas;
- 1.1.2. Elektroietaišu ekspluatācija. Energopārvades un sadales tīkli. LVS EN 50110-1:2005 – Vispārīgi.
- 1.1.3. Zibensaizsardzība. LVS IEC 50-601, LVS IEC 50-604.

### 1.2. LR likumi

- 1.2.1. Enerģētikas likums;
- 1.2.2. Būvniecības likums;
- 1.2.3. Aizsargjoslu likums;
- 1.2.4. Elektroenerģijas tirgus likums;
- 1.2.5. Enerģijas galapatēriņa efektivitātes likums;
- 1.2.6. Likums par “Sabiedrisko pakalpojumu regulatoriem”.

### 1.3. LR Ministru Kabineta noteikumi

- 1.3.1. Vispārīgie būvnoteikumi. Ministru kabineta noteikumi Nr.112 (1997. gada 1. aprīlis) redakcija uz 10.04.2009. vai jaunāka;
- 1.3.2. “Elektroenerģijas pārvades un sadales būvju būvniecības kārtība”. 03.04.2012.; MK noteikumi Nr. 243;
- 1.3.3. “Enerģētikas infrastruktūras objektu aizsargjoslu noteikšanas metodika”. 05.12.2006., MK noteikumi Nr. 982;
- 1.3.4. 05.02.1997. likums “Aizsargjoslu likums” (“LV”, 56/57 (771/772), 25.02.1997.) [spēkā ar 11.03.1997.] ar grozījumiem;
- 1.3.5. “Aizsargjoslu noteikšanas metodika ap aizsprostiem”. 20.02.2007. MK noteikumi Nr.131.
- 1.3.6. Enerģētikas attīstības pamatnostādnes 2007. – 2016. (apstiprinātas MK 2006. gada 27. jūnija sēdē);
- 1.3.7. “Noteikumi par publisko elektroapgādes tīklu sprieguma prasībām”. 04.10.2011. MK noteikumi Nr. 759;
- 1.3.8. “Kārtība, kādā aprēķināma un izmaksājama atlīdzība par energoapgādes objekta ierīkošanai vai rekonstrukcijai nepieciešamā zemes īpašuma lietošanas tiesību ierobežošanu”. 25.07.2006. MK noteikumi Nr. 603 ar grozījumiem 15.03.2011. MK noteikumi Nr. 203;
- 1.3.9. 31.10.2006. MK rīkojums Nr. 835 “Par Atjaunojamo energoresursu izmantošanas pamatnostādnēm 2006. – 2013. gadam” (“LV”, 174 (3542), 01.11.2006.).

### 1.4. Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisijas dokumenti:

- 1.4.1. Tīkla kodekss;
- 1.4.2. Sistēmas pieslēguma noteikumi elektroenerģijas sistēmas dalībniekiem;
- 1.4.3. Noteikumi par atļaujas izsniegšanu elektroenerģijas tiešās līnijas pieslēguma ierīkošanai;
- 1.4.4. Noteikumi par minimālajām prasībām elektroenerģijas sistēmas operatora neatkarībai;
- 1.4.5. Noteikumi par informāciju elektroenerģijas galalietotājiem;
- 1.4.6. Noteikumi par elektroenerģijas sadales pakalpojuma kvalitātes prasībām.

### 1.5. LEK energostandarti:

- 1.5.1. LEK 002 Energoietaišu tehniskā ekspluatācija;
- 1.5.2. LEK 019 Darba aizsardzības prasības darbā ar aprīkojumu. Metodiskie norādījumi;
- 1.5.3. LEK 023 Drošības prasības, veicot darbus 0,4 kV piekarkabeļu līnijās;
- 1.5.4. LEK 025 Drošības prasības, veicot darbus elektroietaisēs. (3. izdevums);
- 1.5.5. LEK 026 Tehnoloģisko traucējumu izmeklēšana un uzskaitē energouzņēmumos un energosistēmā;
- 1.5.6. LEK 026 IZMAIŅAS 1 Tehnoloģisko traucējumu izmeklēšana un uzskaitē energouzņēmumos un energosistēmā;
- 1.5.7. LEK 027 Personāla sagatavošana darbam energoietaisēs;

- 1.5.8. LEK 126 Pretavāriju un ugunsdzēsības treniņu organizēšanas metodika energoietaisēs;
- 1.5.9. LEK 080 Augstsprieguma (110 un 330 kV) sadalietais un apakšstacijas.  
Galvenās tehniskās prasības;
- 1.5.10. LEK 035 Relejaizsardzības un automātikas ierīkošanas un lietošanas noteikumi;
- 1.5.11. LEK 043 Spēka kabeļlīniju pārbaudes metodika;
- 1.5.12. LEK 048 Elektroietaišu zemēšana un elektrodrošības pasākumi. Galvenās tehniskās prasības;
- 1.5.13. LEK 056 Elektroietaisēs lietojamo elektroaizsardzības līdzekļu izmantošana un pārbaude;
- 1.5.14. LEK 056 IZMAIŅAS 3 Elektroietaisēs lietojamo elektroaizsardzības līdzekļu izmantošana un pārbaude;
- 1.5.15. LEK 056 IZMAIŅAS 4 Elektroietaisēs lietojamo elektroaizsardzības līdzekļu izmantošana un pārbaude;
- 1.5.16. LEK 077 Elektroietaišu izolācija. Galvenās tehniskās prasības;
- 1.5.17. LEK 081 Vispārējās prasības elektroietaišu ar spriegumu līdz 330 kV ierīkošanai. Vispārējā daļa;
- 1.5.18. LEK 116 Zemējumietaišu ierīkošana 330 kV un 110 kV ĀSI;
- 1.5.19. LEK 118 Transformatoru eļļu pārbaudes normas.

Šeit ir doti pamatnormatīvie dokumenti, bet ne visi. Normatīvie dokumenti laika gaitā mainās, tādēļ jāseko līdzi jaunākajām izmaiņām.

## IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Timmermanis K., Rozenkrons J., "Elektrisko staciju un apakšstaciju elektriskā daļa", Rīga, Zvaigzne, 1988., 502 lpp.
2. Электрические системы. Том 2. Электрические сети/ под ред. В. А. Венникова, Москва, Высш. шк., 1971., 438 с.
3. Vanags A., "Elektriskie tīkli un sistēmas", Rīga, RTU izdevniecība, 2007., 479 lpp.
4. Barkan J., Chuvychin V., Leschenko S. System for power quality monitoring// International conference "Quality of Power and Standartization" – Estonia, 1996. – p.p. 218-219.
5. Ministru kabineta noteikumi Nr. 841. Elektroapgādes būvju būvniecības kārtība, Rīga, 2005.
6. LEK 002 Energoietaišu tehniskā ekspluatācija.
7. EN50160:1994: Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems.
8. LEK 018 – 2002: Barošanas sprieguma raksturlielumu normas publiskajā elektroapgādes tīklā.
9. Баркан Я. Д. Эксплуатация эллектрических систем. – Москва: Высшая школа, 1990., 304 стр.
10. Аррилага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах. – Москва: Энергоатомиздат, 1990., 320 стр.
11. Dirba J., Ketnere E., Ketners K., "Enerģētisko sistēmu transformatori", Rīga, RTU tipogrāfija, 2004., 296 lpp.
12. Barkāns J., Leščenko S., Vasiļjevs A., Neipreiss S. Pārvades tīklu saites autotransformatoru režīma regulatoru darbības principi// RTU zinātniskie raksti, Rīga, 2003. – lpp. 88-91.
13. Latvijas Republikas Patents Nr. 13125 J. Barkāns, A. Vasiļjevs, S. Leščenko,
14. LVS IEC 50 191:1990 – starptautiskais standarts. "Drošums un pakalpojumu kvalitāte. Starptautiskā elektrotehnikas vārdnīca".
15. Interneta resurss: <http://www.latvenergo.lv>.
16. Interneta resurss: <http://electrical-engineering-portal.com/>.





RĪGA, 2012.

ISBN 978-993-48332-1-2

