

Rīgas Tehniskā universitāte

ELEKTROSTACIJU UN
APAKŠSTACIJU
ELEKTROIEKĀRTAS

Mācību programma

K. Gudaitis. Elektrostaciju un apakšstaciju elektroiekārtas. Mācību programma. Rīga, RTU Izdevniecība, 2019. 28 lpp.

Metodiskais līdzeklis veidots kā mācību programma, kā apgūšanas rezultātā dalībnieki iegūs un uzlabos zināšanas par energosistēmas struktūru, elektrostaciju un apakšstaciju galvenajām elektroiekārtām, kā arī to izmantošanas nolūkiem. Mācību programmas ietvaros uzmanība tiek pievērsta arī elektrostaciju un apakšstaciju galvenajām shēmām, elektroierīču un sadalietaišu uzbūvei, kā arī elektroiekārtām, to darbības principiem un atlases metodēm. Mācību materiāls sastāv no teorijas un praktiskās daļas.

Literārā redaktore: Irēna Skārda
Tehniskā redaktore: Irēna Skārda
Dizains: Baiba Puriņa
Vāka dizains: Paula Lore

Vāka attēls no shutterstock.com

Izdots saskaņā ar “Enhancement of the mobility and employability of Lithuanian and Latvian specialists in the field of electrical engineering and high voltage technologies (LitLatHV)” aktivitātes īstenošanu.

© Rīgas Tehniskā universitāte, 2019
ISBN 978-9934-22-208-5 (pdf)

Mācību programmas apraksts	4
IEVADS	6
1. ENERGOSISTĒMAS STRUKTŪRA.....	7
2. SPĒKSTACIJU UN APAKŠSTACIJU SVARĪGĀKAIS APRĪKOJUMS	10
2.1. Sinhronģeneratoru veidi un svarīgākās iezīmes	10
2.2. Spēka transformatoru klasifikācija un galvenie parametri	10
2.3. Vienfāzes transformatora uzbūve.....	12
2.4. Transformatora darbības režīmi.....	12
2.4.1. Tukšgaitas režīms	12
2.4.2. Slodzes režīms	14
2.5. Transformatora ārējās raksturlīknes.....	15
2.6. Trīsfāžu transformatori	15
3. KOMUTĀCIJAS APARĀTI	17
3.1. Jaudas slēdži un to raksturlīknes.....	17
3.2. Jaudas slēdžu klasifikācija.....	17
3.3. Vakuuma jaudas slēdži	18
4. KOPNES UN IZOLATORI: KOPŅU UZDEVUMS, KLASIFIKĀCIJA UN UZBŪVE	22
PRAKTISKAIS DARBS.....	27
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	28

Mācību programmas apraksts

Mācību programmas dalībnieki tiks iepazīstināti ar energosistēmas struktūru, elektrostaciju un apakšstaciju galvenajām elektroiekārtām, kā arī to izmantošanas nolūku. Mācību programmas ietvaros uzmanība tiek pievērsta arī elektrostaciju un apakšstaciju galvenajām shēmām, elektroierīču un sadalietaišu uzbūvei, kā arī elektroiekārtām, to darbības principiem un atlasē metodēm.

Minimālās prasības dalībai mācību programmā

Augstākā, profesionālā augstākā izglītība, apmācība vai pielīdzināma izglītība elektroinženierzinātņu vai inženiertehnoloģiju jomā*. (*Ja iegūta izglītība tehnoloģiju vai inženierzinātņu jomā un pabeigti kursi (mācību programmas) elektroinženierzinātņu jomā.)

Iegūstamā profesionālā kvalifikācija

Personām, kas pabeidz mācību programmu “Elektrostaciju un apakšstaciju elektroiekārtas”, netiek piešķirta profesionālā kvalifikācija.

Mācību programmas mērķis un uzdevumi

Mācību programmas “Elektrostaciju un apakšstaciju elektroiekārtas” mērķis ir iepazīstināt programmas dalībniekus ar energosistēmas struktūru, elektrostaciju un apakšstaciju galvenajām elektroiekārtām, attīstīt kognitīvās spējas izvēlēties elektroiekārtas, attīstīt praktiskās spējas izvērtēt elektroiekārtu īpašības un elektroiekārtu izmantošanu.

Mācību programmā (kursā) izmantotās mācību metodes

Izmantotās mācību metodes ir lekcijas (teorētiskā daļa) un praktiskā apmācība (praktiskā daļa). Teorētiskās nodarbības notiek auditorijā, kas aprīkota ar datoriem un ierīcēm vizuālā materiāla demonstrēšanai. Teorētiskais materiāls ir sadalīts tēmās, tiek izskatīti arī praktiski piemēri. Praktiskās nodarbības notiek augstsprieguma laboratorijā. Gala pārbaudījums ir eksāmens, kas norit pēc mācību programmas “Elektrostaciju un apakšstaciju elektroiekārtas” pabeigšanas.

Mācību programmas ilgums un plāns

Mācību programmas “Elektrostaciju un apakšstaciju elektroiekārtas” ilgums ir 8 stundas, no kurām 4 stundas tiek veltītas teorijas apguvei un 4 stundas – praktiskajām nodarbībām.

Nr.	Tēma	Stundu skaits	
		Teorētiskā daļa	Praktiskā daļa
1.	Energosistēmas struktūra	0,5	
2.	Elektrostaciju un apakšstaciju galvenās elektroiekārtas	0,5	
2.1.	Ģeneratori	0,5	
2.2.	Transformatori	1	2
2.3.	Sadalietais	1	2
2.4.	Kopnes un izolācijas materiāli	0,5	
Kopējais stundu skaits:		8	

Klausītāju skaits grupā

Maksimālais klausītāju skaits grupā ir 8.

Mācību programmas moduļu apraksts

Dalībnieki, kas pabeigs mācību programmu “Elektrostaciju un apakšstaciju elektroiekārtas”, iegūs un pilnveidos zināšanas par energosistēmas struktūru, elektrostaciju un apakšstaciju galvenajām elektroiekārtām, ģeneratoriem, transformatoriem, sadalītaisēm, kopnēm un izolācijas materiāliem.

Zināšanu un prasmju novērtēšanas metodes un kritēriji

Dalībnieki, kas sekmīgi pabeiguši mācību programmas “Elektrostaciju un apakšstaciju elektroiekārtas” teorētisko daļu un izpildījuši teorētisko uzdevumu, kas novērtēts ar vismaz 60 %, iegūst novērtējumu – kredītpunktus. Gala eksāmens notiek pēc mācību programmas pabeigšanas. Vērtējot kursā iegūtās zināšanas, pasniedzējs ievēro šādus profesionālo kompetenču novērtēšanas kritērijus:

Zināšanas	Zināšanu novērtēšanas kritēriji
Students izprot elektrisko iekārtu un to elementu funkcionālo nozīmi un savstarpējo saistību	Students pareizi nosaka elektrisko iekārtu un to elementu funkcionālo nozīmi un savstarpējo saistību, ņemot vērā darbības mērķi un iekārtas atrašanās vietu
Students spēj analizēt strādājošo elektrisko iekārtu tehniskos parametrus un pazīmes	Students pareizi un atbilstoši prasībām analizē un apraksta strādājošās elektroiekārtas, to tehniskos parametrus un pazīmes
Students zina, kā ievērot piemērojamās tiesību aktus un standartus	Students pienācīgi ievēro piemērojamās tiesību aktus un standartus

Nepieciešamie mācību līdzekļi

- Vizuālie materiāli: statīvi, plakāti.
- Vienfāzes un trīsfāžu transformatora izmēģināšanas stends *ENT5*.
- Vēja enerģijas izmēģināšanas stends *MINI-EEEC*.
- Augstsprieguma jaudas slēdža analizators *PME 500 TR*.

IEVADS

Tiek prognozēts, ka līdz 2024. gadam pieprasījums pēc elektrības Lietuvā palielināsies līdz 13,3 TWh (vidējais ikgadējais pieaugums: 2,2 %), bet lielākais pieprasījums pēc elektroenerģijas par 2260 MW [4]. Lai nodrošinātu Lietuvas energosistēmas stabilu darbību un elektrības efektīvu piegādi patērētājiem, tiek īstenoti projekti elektrības ražošanas infrastruktūras, pārvades un sadales tīkla elementu (elektrostacijas, līnijas un transformatoru apakšstacijas) rekonstrukcijai un attīstīšanai.

Rekonstrukcijas ietvaros energobloku un transformatoru apakšstaciju modernizācija notiek, aizstājot nolietotās un morāli novecojušās iekārtas, kā arī aizstājot pārvaldības, komunikāciju un releju aizsardzības sistēmas ar mūsdienu prasībām atbilstošām sistēmām. Lai nodrošinātu atbalstu sadales iekārtu tīklam, ir ieteicams, ka gada laikā tiktu rekonstruētas vidēji 5–6 apakšstacijas, lai gan 2015. gadā tika rekonstruētas jau divpadsmit 110 kV apakšstacijas [5].

Elektrostaciju un apakšstaciju galvenais uzdevums ir ražot un piegādāt elektrību klientiem, garantējot pieprasīto elektropadeves uzticamību. Lai transformatoru apakšstacijas varētu nodrošināt elektropadeves uzticamību, to tehniskajam aprīkojumam jābūt atbilstošā tehniskajā stāvoklī un jāatbilst Eiropas Savienības drošības prasībām. Tomēr primāro iekārtu vecums lielā daļā transformatoru apakšstaciju ir 40 gadu vai pat vairāk, tādēļ to tehniskais stāvoklis ir ļoti slikts un neparedzētu elektropadeves pārtraukumu risks ir pieaudzis.

Lai arī turpmāk varētu veiksmīgi īstenot projektus, kas palīdz saglabāt un uzlabot elektropadeves kvalitāti, ir jāsagatavo augstākajām kvalifikācijas prasībām atbilstoši speciālisti.

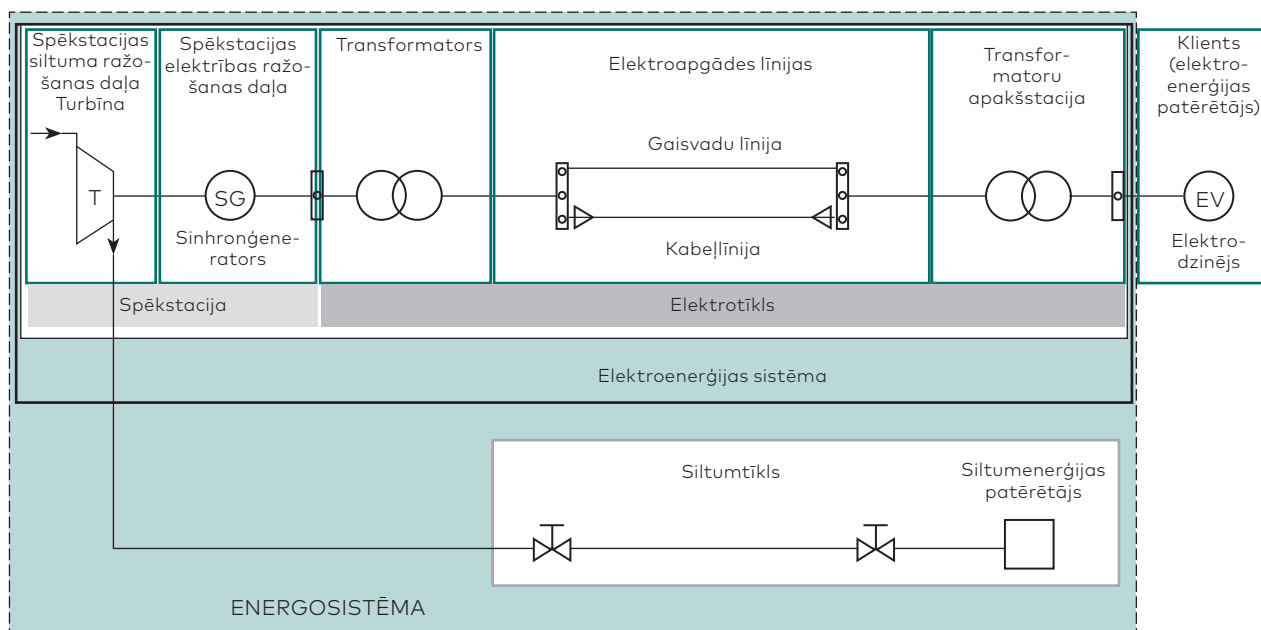
1. ENERGO SISTĒMAS STRUKTŪRA

Ap 1880. gadu elektroenerģija un tās izmantošana visās ekonomikas jomās sāka strauji attīstīties. Šis ir laiks, kad elektrība kļuva par galveno industriālās attīstības progresā virzītājspēku, jo bez tās nav iedomājama industriālo procesu automatizācija un informācijas tehnoloģiju, radioelektronikas un citu nozaru izaugsme.

Elektrības attīstības procesu nosaka vairāki faktori:

- elektrība tiek ražota, izmantojot primāros energoavotus (organiskā degviela, kodoldegviela) un atjaunīgos energoresursus (vējš, saules enerģija, ģeotermālā enerģija, ūdens potenciālā enerģija);
- elektroenerģijas vienkārša un droša pārvadīšana (lielos attālumos);
- elektroenerģijas vienkārša pārvēršana cita veida enerģijā;
- elektroenerģijas neaizvietojamība informācijas un komunikāciju tehnoloģijās;
- elektrisko lielumu vienkārša mērīšana un procesu pārvaldība;
- alternatīvu energoavotu (kodoltermiskā sintēze, biogāze) un sekundāro energoavotu (siltums no sēra dedzināšanas ķīmijas rūpniecībā) izmantošana.

Ir paredzams, ka arī nākotnē elektroenerģija būs galvenais enerģijas veids, ko izmantos cilvēki. Elektroenerģijas nozarei augot, ir mainījies elektrības apgādes strukturālais veidols, ir izveidojies un attīstījies elektrotīkls. 1.1. attēlā redzams vispārīgs energosistēmas struktūras attēlojums.



1.1. att. Energosistēmas strukturāls attēlojums [1].

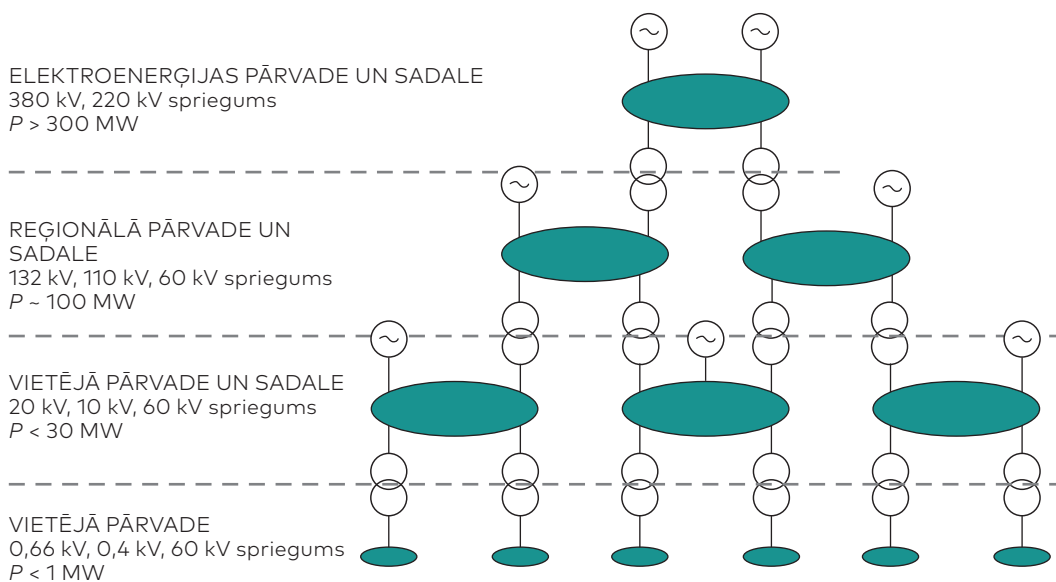
Turpinājumā sniegtas galvenās enerģosistēmas galveno strukturālo elementu definīcijas atbilstoši Vispārīgajiem noteikumiem par elektroiekārtu uzstādīšanu, kas apstiprināti ar Lietuvas Republikas Enerģētikas ministrijas 2012. gada 3. februāra rīkojumu Nr. 1-22.

- **Energosistēma** – visas sinhronizētās spēkstacijas, siltumapgādes un elektroapgādes tīkli, kas ražo, pārvada un sadala elektroenerģiju un siltumenerģiju.
- **Elektroenerģijas sistēma** – elektriskā aprīkojuma kopums, kas veidots elektrības ražošanai, pārvadei un sadalīšanai.
- **Elektrotīkls** – savstarpēji savienotu gaisvadu līniju un kabelīniju, apakšstaciju, transformatoru apakšstaciju un sadaļņu kopums, kas nodrošina elektrības pārvadi un sadali.
- **Elektroapgādes līnija** – elektrības pārvadē izmantoto kabeļu, vadu, izolācijas

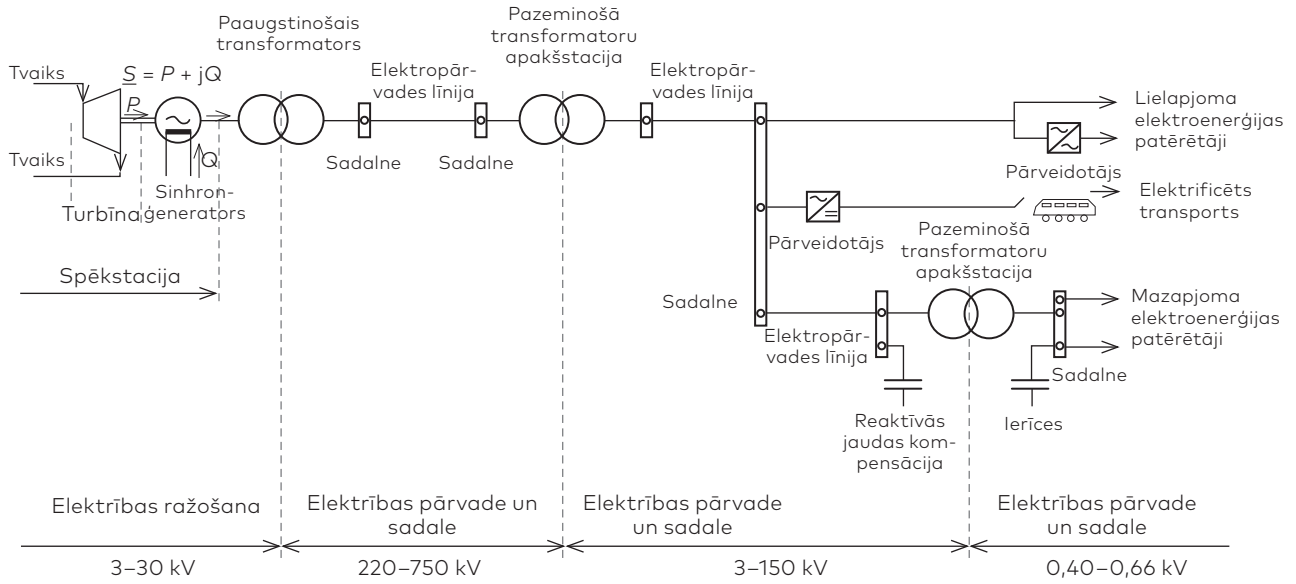
materiālu un balsta konstrukciju kopums.

- **Gaisvadu līnija** – iekārta elektrības pārvadei pa izolētiem vai neizolētiem vadiem, kas izvietoti gaisā un piestiprināti balsta konstrukcijai ar izolējošu materiālu.
- **Kabeļlīnija** – iekārta elektroenerģijas pārvadei vai īsviļņu signālu pārraidīšanai gaisā vai zem zemes.
- **Transformators** – vispārpieņemts spēka transformatora un autotransformatora apzīmējums, ja vien tekstā nav sniegts cits skaidrojums.
- **Transformatoru apakšstacija** – daļa no 35 kV un augstāka sprieguma elektriskās sistēmas, kas aizņem noteiktu teritoriju vai telpas un ietver transformatorus, sadalnes, kā arī citas iekārtas un struktūras.
- **Transformatoru stacija** – apakšstacija ar 6–10 kV spriegumu.
- **Elektroenerģijas patērētājs** – uzņēmums, organizācija, institūcija, īpašnieks vai pilnvarota persona, kuras elektroiekārtas ir pievienotas elektrotīklam un izmanto elektrību un kura ar piegādātāju ir noslēgusi līgumu par elektrības piegādi un patēriņu, un kurai ir noteikts elektrotīkla īpašumtiesību limits.
- **Elektroiekārta/ierīce** – tehniska konstrukcija (mašīna, aparāts, to palīgierīces u. c.) elektrības ražošanai, pārvadei, pārveidošanai, sadalei un/vai patēriņam.
- **Sinhronģenerators** – elektriska ierīce, kas mehānisko enerģiju pārvērš elektroenerģijā.
- **Elektrodzinējs** – elektriska ierīce, kas elektroenerģiju pārvērš mehāniskajā enerģijā.
- **Sadalne** – elektriska ierīce elektrības saņemšanai un sadalei, kas ietver komutācijas aparātus, savienotājkopnes un sadalkopnes, palīgierīces (kompresorus, akumulatorus u. c.), kā arī aizsargierīces, automatizācijas ierīces un mērierīces.

Rietumeiropā izplatītās elektroenerģijas apgādes hierarhiskā struktūra parādīta 1.2. attēlā. Elektroenerģijas ražošanas, apgādes un sadales struktūrdiagramma ir aplūkojama 1.3. attēlā.



1.2. att. Elektroenerģijas apgādes hierarhiskā struktūra [1].



1.3. att. Elektroenerģijas ražošanas, apgādes un sadales struktūrdiagramma [1].

Elektroenerģijas sistēmai salīdzinājumā ar atsevišķām spēkstacijām ir vairākas priekšrocības:

- iespēja palielināt ģeneratoru un spēkstaciju energoblokus;
- iespēja vairot elektroapgādes uzticamību;
- atsevišķu spēkstaciju izmaksu lietderības uzlabošana;
- iespēja samazināt minimālo jaudas rezervi;
- iespēja piegādāt kvalitatīvāku elektrību.

2. SPĒKSTACIJU UN APAKŠSTACIJU SVARĪGĀKAIS APRĪKOJUMS

2.1. Sinhronģeneratoru veidi un svarīgākās iezīmes

Ar elektrības apgādi saistītais svarīgākais aprīkojums ir ģeneratori un spēka transformatori. Ģenerators ir ierīce, kas pārvērš mehānisko enerģiju elektroenerģijā. Ja ģeneratora statoram un ģeneratora rotoram ir vienāds rotācijas ātrums (tie ir sinhroni), tad šādu ģeneratoru dēvē par sinhronģeneratoru.

Ģeneratorus klasificē pēc šādiem kritērijiem:

- fāžu skaits (vienfāzes, trīsfāžu u. c.);
- darbības veids (ja ģeneratoru darbina tvaika vai gāzes turbīna, to sauc par turboģeneratoru, ja to darbina hidroturbīna – hidroģeneratoru).

Lai arī trīsfāžu sinhronģeneratori spēkstacijās tiek izmantoti biežāk, pieaug arī asinhronģeneratoru izmantošana, pateicoties vēja enerģijas apguves straujajai attīstībai. Koriģējot vēja ātrumu vai hidroģeneratoru, var panākt, ka saražotās elektrības frekvence, spriegums un fāze atbilst elektrotīkla parametriem, tādējādi ļaujot no atjaunīgajiem enerģoresursiem iegūto elektroenerģiju pievadīt elektrotīklam. Tomēr ne vienmēr šāda enerģijas pārveide ir visefektīvākā vēja energostacijās, tāpēc tiek izmantotas citas sistēmas, kas var nebūt sinhronizētas ar elektrotīklu un kurās enerģija tiek piegādāta, izmantojot pusvadošus jaudas pārveidotājus [2].

Turboģeneratori ir ātrdarbīgas elektriskās mašīnas ar horizontāli novietotu vārpstu. To rotācijas ātrums $n_2 = 3000$ rpm. Retāk $n_2 = 1500$ rpm. Ja turboģeneratoru darbina iekšdedzes dzinējs, tad $n_2 = 750\text{--}1500$ rpm.

Hidroģeneratori ir lēndarbīgas mašīnas ar vertikāli novietotu vārpstu. Jaudīgu hidroģeneratoru rotācijas ātrums $n_2 = 60\text{--}135$ rpm. Vidēji jaudīga ģeneratora rotācijas ātrums $n_2 = 125\text{--}750$ rpm.

Ģeneratorus raksturo šādi pamatparametri:

- nominālā aktīvā jauda un pilnā jauda;
- nominālais spriegums (tas ir par 5 % augstāks nekā tāda paša nomināla elektrotīkla spriegums un sasniedz līdz pat 30 kV ļoti jaudīgiem ģeneratoriem);
- nominālais jaudas koeficients (sasniedz 0,8–0,9);
- nominālā strāva statorā;
- nominālā strāva rotorā;
- nominālais ātrums;
- nominālā frekvence.

Turboģenerators ir attēlots 2.1. attēlā.



Ierosinātājs

Galvenais ģenerators

Tvaika turbīna

2.1. att. Turboģenerators [1].

2.2. Spēka transformatoru klasifikācija un galvenie parametri

Transformators ir statiska elektriskā mašīna, kas pārveido elektroenerģiju, nemainot tās frekvenci. Transformatora **uzdevums** ir pārvietot elektrību no vienas ķēdes uz otru.

Spēka transformatorus iedala pēc:

- **veida** – vispārīgs (pazeminošais vai paaugstinošais), īpašs (elektrokrāšņu, metināšanas, vilces iekārtu);

- **fāžu skaita** – vienfāzes, trīsfāžu;
- **tinumu skaita** – divtinumu, trīstinumu, ar šķeltu zemākā sprieguma tinumu;
- **dzesēšanas** – eļļas (dabiskā, piespiedu vai kombinētā dzesēšana), sausā dzesēšana;
- **sprieguma regulēšanas** – transformatori ar sprieguma regulēšanu pie slodzes, transformatori ar tinumu pārslēgšanu, ja transformators ir atvienots no tīkla.

Spēka transformatorus raksturo šādi pamatparametri:

- nominālā pilnā jauda – S_{T_nom} ;
- nominālais spriegums (augsts, vidējs, zems) – U_{H_nom} , U_{M_nom} , U_{L_nom} ;
- nominālā strāva (attiecīgajam tinumam) – I_{H_nom} , I_{M_nom} , I_{L_nom} ;
- nominālais jaudas zudums (īsslēguma, tukšgaitas apstākļos) – $P_{d_K_nom}$, $P_{d_0_nom}$;
- nominālais īsslēguma spriegums – $u_{K_ \%}$;
- nominālā tukšgaitas strāva – $i_{0_ \%}$;
- nominālais magnetodzinējspēks – Q_{d_0} ;
- tinumu slēgums (zvaigznes slēgums ar nulles punktu (YN/yn), zvaigznes slēgums (Y/y), trīsstūra slēgums (D/d), zigzagzvaigznes slēgums ar nulles punktu (ZN/zn)). Atvērta trīsstūra savienojums tiek izmantots strāvmaiņos, lai iegūtu nullsecības filtru (iii);
- tinumu slēgumgrupa – atkarībā no tā, kā ir savienoti augstsprieguma un zemsprieguma tinumi, izšķir 12 tinumu slēgumgrupas. Tinumu slēgumgrupa ir stundās izteikts leņķis starp zemsprieguma (vidsprieguma) un augstsprieguma lineārā elektrodzinējspēka vektoriem.

Augstsprieguma apakšstacijās visbiežāk izmantoto eļļas transformatoru. Galvenās eļļas transformatora daļas:

- magnētserde uz kājām;
- tinumi;
- galvenā tvertne;
- tvertnes pārsegs;
- izolatori;
- eļļas tvertne;
- sprieguma regulators.

Mazjaudas eļļas transformatora uzbūve atainota 2.2. attēlā.

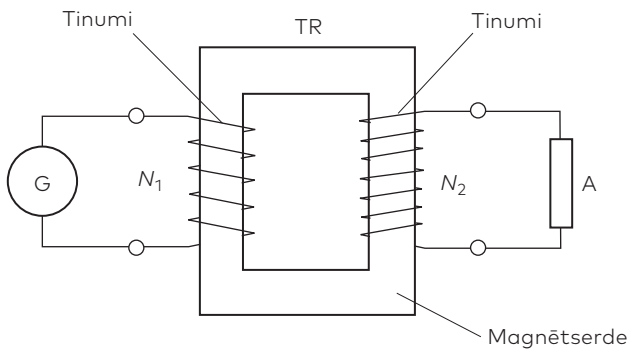


- 1 – magnētserdes spriegošanas ierīce
- 2 – magnētserde ar trim kājām
- 3 – tinums
- 4 – tinumu komutācijas aparāts
- 5 – zemsprieguma izolators
- 6 – augstsprieguma izolators
- 7 – termometra kabata
- 8 – eļļas tvertne
- 9 – transportēšanas sliede
- 10 – eļļas konservators

2.2. att. Mazjaudas eļļas transformatora uzbūve [7].

2.3. Vienfāzes transformatora uzbūve

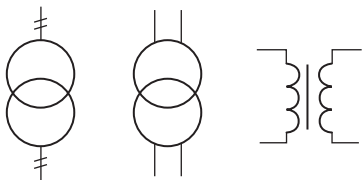
Transformatoru (2.3. att.) veido divas spoles – tinumi –, tiem ir dažāds vijumu skaits N_1 un N_2 , un tie ir novietoti uz tērauda serdes (magnētserde).



2.3. att. Transformatora funkcionālā shēma [6].

Tinumi nav saistīti elektriski. Tos saista tikai magnētiskais lauks. Magnētserdes uzdevums ir uzlabot magnētisko savienojumu starp tinumiem. Lai samazinātu virpuļstrāvu zudumus, magnētserde ir izgatavota no 0,35–0,5 mm bieziem elektrotehniskā tērauda slāņiem, kas viens no otra ir elektriski izolēti. Slāņi ir piegriezti vajadzīgajai formai, lai tinumus uz tiem varētu novietot.

Transformatora tinumi ir dažādas uzbūves spoles. Tās uz magnētserdes var būt novietotas dažādi: uz atsevišķām kājām, uz vienas kājas, tuvu viena otrai, viena virs otras utt. Viens no tinumiem ir pievienots tam avotam, kura spriegums ir jāmaina. Otrs tinums ir pievienots patērētājam, un to dēvē par sekundāro tinumu. Vienā transformatora var būt 1, 2, 3 vai vairāk sekundāro tinumu. Ja primārā tinuma spriegums ir lielāks nekā sekundārā tinuma spriegums, šādu transformatoru sauc par pazeminošo transformatoru; ja spriegums primārajā tinumā ir zemāks nekā sekundārajā, tad tas ir paaugstinošais transformators. Shēmās izmantotie transformatoru apzīmējumi redzami 2.4. attēlā.

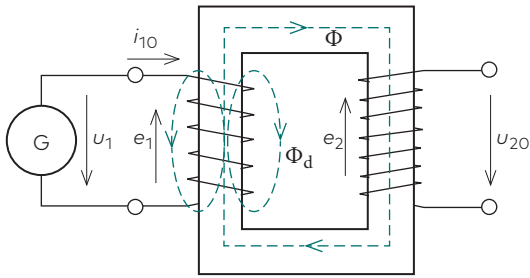


2.4. att. Transformatoru standartapzīmējumi [6].

2.4. Transformatora darbības režīmi

2.4.1. Tukšgaitas režīms

Transformators darbojas tukšgaitā, ja primārais tinums ir pieslēgts tīklam un strāva otrajā tinumā ir vienāda ar nulli.



2.5. att. Transformators tukšgaitā [5].

Ja caur primāro tinumu plūst tukšgaitas strāva i_{10} , rodas mainīga magnētiskā plūsma Φ , kas ir proporcionāla magnetodzinējspēkam.

$$F_1 = N_1 I_{10}, \quad (2.1.)$$

kur N_1 ir vijumu skaits primārajā tinumā.

Lielākā daļa magnētiskās plūsmas nonāk magnētserdē. Plūsma virzās caur abiem transformatora tinumiem, kur tā inducē elektrodzinējspēku.

$$e_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt}, e_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2.2.)$$

Pieņemot, ka magnētiskā plūsma mainās sinusoidāli, $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$, un aplūkojot 2.3. vienādojumus:

$$e_1 = E_{1m} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), e_2 = E_{2m} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right), \quad (2.3.)$$

mēs redzam, ka arī elektrodzinējspēks mainās sinusoidāli. Elektrodzinējspēka efektīvā vērtība:

$$E_1 = 4,44 f N_1 \Phi_m, E_2 = 4,44 f N_2 \Phi_m, \quad (2.4.)$$

kur f – tīkla frekvence;

N_1, N_2 – vijumu skaits tinumos;

Φ_m – plūsmas maksimālā vērtība.

Elektrodzinējspēks E_1 darbojas pretēji pieslēgtajam spriegumam un kompensē to, bet E_2 rada spriegumu U_{20} otrā tinuma galos. Ne visas transformatora spēka līnijas beidzas magnētserdē. Dažas no šīm spēka līnijām beidzas gaisā ap primārā tinuma vijumiem. Tādā gadījumā to sauc par izkliedes magnētisko plūsmu Φ_d . Tās rezultātā primārajā tinumā tiek inducēts izkliedes elektrodzinējspēks:

$$E_{d1} = 4,44 f N_1 \Phi_{dm}. \quad (2.5.)$$

Tā kā elektrodzinējspēka virziens E_{d1} , kā arī E_1 ir pretējs pieslēgtā sprieguma virzienam, tā ietekmi nosaka, sprieguma kritumu reizinot ar izkliedes induktīvo pretestību X_1 .

$$E_{d1} = jX_1 I_{10}. \quad (2.6.)$$

Pieņemot, ka arī tinuma vadiem piemīt elektriskā pretestība, transformatora primārajam tinumam mēs varam sastādīt šādu vienādojumu:

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1 + R_1 I_{10} + jX_1 I_{10} = \underline{E}_1 + \underline{Z}_{10} I_{10}, \quad (2.7.)$$

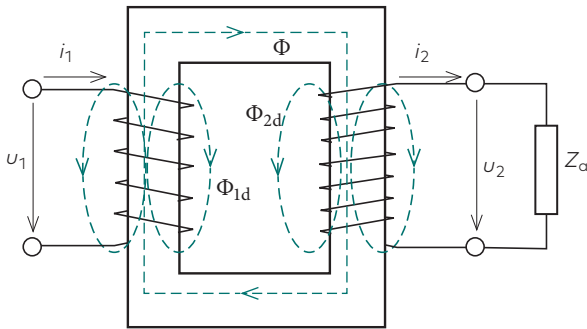
šeit Z_{10} – transformatora primārā tinuma pilnā pretestība.

Tukšgaitas strāva I_{10} ir tikai 3 % salīdzinājumā ar tinuma nominālo strāvu. Tāpēc tā netiek ņemta vērā un tiek pieņemts, ka $U_1 = E_1$. Transformatora sekundārā tinuma spriegums $U_{20} = E_2$. Attiecību starp elektrodzinējspēku sekundārajā tinumā un primārajā tinumā sauc par transformācijas koeficientu:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_{20}}. \quad (2.8.)$$

2.4.2. Slodzes režīms

Kad transformatora sekundārajam tinumam ir pieslēgts elektroenerģijas saņēmējs, caur šo sekundāro tinumu sāk plūst strāva I_2 , bet strāva I_1 primārajā tinumā atšķiras no tukšgaitas strāvas I_{10} . Tādā gadījumā transformators strādā ar slodzi (2.6. att.).



2.6. att. Transformators darbībā [6].

Tukšgaitā magnetodzinējspēks, kas rada magnētisko plūsmu, ir $F_{10} = N_1 I_{10}$. Slodzes apstākļos magnētisko plūsmu rada divi elektrodzinējspēki:

$$F_1 = N_1 I_1, F_2 = N_2 I_2. \quad (2.9.)$$

Kopējais elektrodzinējspēks:

$$F = F_1 + F_2 = N_1 I_1 + N_2 I_2. \quad (2.10.)$$

Pārbaudes un aprēķini rāda: ja $U_1 = \text{const}$ un transformatora slodze pieaug no nulles līdz nominālajai slodzei, magnētiskā plūsma magnētserdē praktiski nemainās, tas ir, $\Phi = \text{const}$. Tas nozīmē, ka arī elektrodzinējspēks dažādos slodzes apstākļos ir konstants. To var izteikt ar šādu vienādojumu:

$$F = F_{10}, \quad N_1 I_1 + N_2 I_2 = N_1 I_{10}. \quad (2.11.)$$

Pamatojoties uz iepriekš aplūkotajiem vienādojumiem, nonākam pie šāda aprēķina:

$$I_1 = I_{10} - I_2 \frac{N_2}{N_1} = I_{10} - I_2 \frac{1}{k}. \quad (2.12.)$$

Mīnus zīme norāda, ka strāva sekundārajā tinumā ir atmagnetizējoša.

Tā kā tukšgaitas strāvas lielums ir nenozīmīgs ($I_{10} \approx 0 \text{ A}$), nonākam pie šāda vienādojuma:

$$I_1 = I_2 \frac{1}{k}. \quad (2.13.)$$

Pamatojoties uz minēto,

$$k = \frac{I_2}{I_1}. \quad (2.14.)$$

Primārā tinuma elektriskā stāvokļa vienādojums:

$$\underline{U}_1 = \underline{E}_1 + \underline{Z}_1 I_1. \quad (2.15.)$$

Attiecībā uz strāvu I_2 ap sekundārā tinuma vijumiem būs izkļiedes magnētiskā plūsma. Tāpēc sekundārā tinuma elektriskā stāvokļa vienādojums:

$$\underline{U}_2 = \underline{E}_2 - \underline{Z}_2 I_2, \quad (2.16.)$$

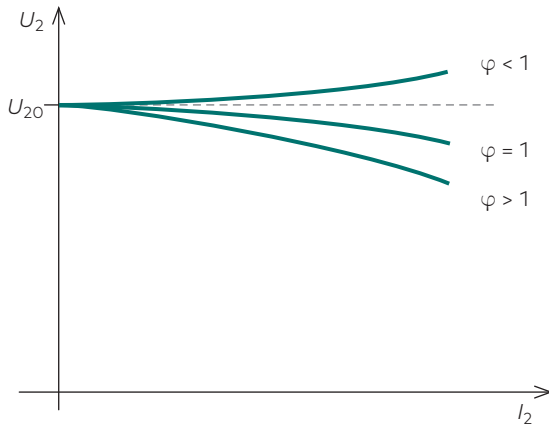
kur $Z_2 = R_2 + jX_2$ – sekundārā tinuma pilnā pretestība;

R_2 – sekundārā tinuma elektriskā pretestība;

X_2 – sekundārā tinuma induktīvā pretestība.

2.5. Transformatora ārējās raksturlīknes

Spriegums sekundārajā tinumā ir atkarīgs no slodzes strāvas. Atkarība $U_2 = f(I_2)$ ir transformatora ārējā raksturlīkne. Tā ir viena no svarīgākajām transformatora darbības raksturlīknēm, un tā ir redzama 2.7. attēlā.



2.7. att. Transformatora ārējās raksturlīknes [6].

Kā redzams 2.7. attēlā, pie aktīvi induktīvas transformatora slodzes ($\varphi > 1$) un ar pieaugošu strāvu I_2 spriegums U_2 samazinās. Ja slodze ir aktīvi kapacitatīva ($\varphi < 1$), spriegums samazinās.

Izmaiņas spriegumā nosaka pēc relatīvās vērtības:

$$\Delta U = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100, \% \quad (2.17)$$

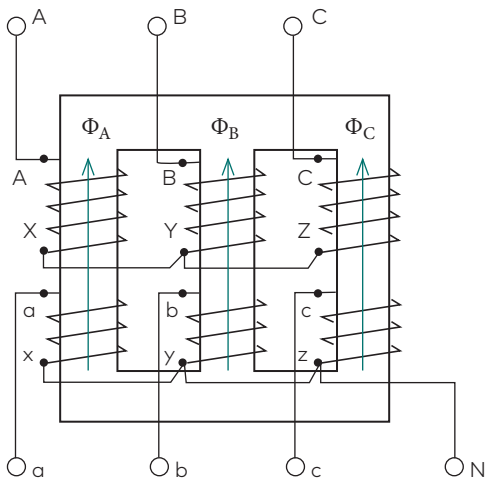
Atsevišķi elektroenerģijas saņēmēji ir ļoti jutīgi attiecībā pret izmaiņām spriegumā. Piemēram, ja tīkla spriegums atšķiras no nominālā sprieguma par 1 %, kvēlspuldzes gaismas plūsma izmainās par 3,5 %, bet to kalpošanas ilgums pat par 13 %. Tāpēc pieļaujamās sprieguma izmaiņas ir no 5 % līdz 10 % pie nominālās slodzes.

2.6. Trīsfāžu transformatori

Trīsfāžu transformators sastāv no trim vienfāzes transformatoriem, kas ir pievienoti vienai magnētiskajai sistēmai (2.8. att.). Vienfāzes tinumi ir novietoti uz magnētserdes stieņiem. Primārā tinuma strāvas radītās magnētiskās plūsmas noslēdzas abos pārējos stieņos.

Trīsfāžu transformatora tinumi var būt saslēgti dažādos veidos. Ir divpadsmit tinumu slēguma veidi, ko dēvē par tinumu slēguma grupām. Tā kā spriegums otrajā tinumā ir atkarīgs no tinumu slēguma grupas, lai izvairītos no enerģijas pārblīvējuma tīklā, trīsfāžu tinumu slēguma grupas nosaka standarts. Šis standarts ļauj slēgt tinumus tikai trīs grupās: Y/Y0 – grupa 12; Y/Δ – grupa 11 un Y0 – grupa 11.

Augstsprieguma tinumu slēguma grupu norāda virs svītras, bet zemsprieguma tinumu slēgumu grupu norāda zem svītras.



2.8. att. Trīs fāžu transformators [6].

Šie transformatori parasti darbojas ar augstspriegumu, un tos izmanto elektroenerģijas pārvades tīklos. Lai nodrošinātu labākus dzesēšanas apstākļus, magnētserdes un tinumi tiek ievietoti tvertnē ar īpašu transformatoru eļļu [6].

3. KOMUTĀCIJAS APARĀTI

Komutācijas aparāti ir jaudas slēdži, slodzes slēdži, slēdži, atdalītāji, drošinātāju slīdes, automātiskie slēdži, magnētiskie palaidēji, kontaktori, svirslēdži un taustiņi. Augstsprieguma apakšstacijās biežāk izmantotie komutācijas aparāti ir jaudas slēdži un atdalītāji.

3.1. Jaudas slēdži un to raksturliķnes

Jaudas slēdzis ir mehānisks komutācijas aparāts, ar kuru dažādos elektrotīkla darbības režīmos var izslēgt elektrisko strāvu. Jaudas slēdži ieslēdz vai izslēdz darba strāvu, tomēr to galvenais uzdevums ir automātiski atslēgt īsslēguma strāvas. Tam arī jāiztur kļūdainais īsslēguma savienojums, kad īsslēguma triecienstrāva plūst caur to pirms kontaktu pilnīgas ieslēgšanas. Jaudas slēdži aktivizē aizsardzības sistēmas, un tas aizsargā ķēdi no nepareizas darbības, piemēram, pārslodzes, sprieguma pārmērīga pieauguma vai krituma, sprieguma zuduma, elektriskās strāvas virziena maiņas, kā arī no īsslēguma. Jaudas slēdžus var izmantot elektriskajos tīklos, parasti tos izmanto augstsprieguma elektriskajās ķēdēs. Elektriskajās ķēdēs jaudas slēdžus apzīmē ar Q. Ir dažāda veida un konstrukcijas jaudas slēdži, un tos iedala atkarībā no vides, kurā tiek dzēsts elektriskais loks. Jaudas slēdžus darbina piedziņas mehānisms.

Jaudas slēdžiem ir jāgarantē droša elektriskās ķēdes izslēgšana un loka dzēšana šādos elektriskā tīkla ilgstošas un īstermiņa anormālas darbības režīmos:

- īsslēgumā;
- zibensizlādes pārsprieguma gadījumā;
- ja ir pārāk liela komutējamā strāva;
- elektrotīkla ierīču nepareizas darbības gadījumā.

Darbības režīmi tīklam, kurā ir ieslēgts jaudas slēdzis:

- tukšgaitas (tīklā nav slodzes);
- normālas darbības režīms (tīkls darbojas ar normālu slodzi);
- avārijas režīms (tīklā ir pārslodze).

3.2. Jaudas slēdžu klasifikācija

Jaudas slēdžus iedala vairākās grupās:

- 1) pēc elektriskā loka dzēšanas veida:
 - gaisa;
 - eļļas;
 - vakuuma;
 - elegāzes;
- 2) pēc uzstādīšanas vietas:
 - brīvgaisa;
 - slēgtā vidē;
- 3) pēc piedziņas mehānisma:
 - manuālais;
 - elektromagnētiskais;
 - ar atsperi darbināmais;
 - pneimatiskais;
 - hidrauliskais;
- 4) pēc tīkla, kurā tie darbojas:
 - augstsprieguma (virs 72 kV);
 - vidsprieguma (1–72 kV);
 - zemsprieguma (līdz 1 kV).

Gaisa vai elegāzes jaudas slēdži (visizplatītākie) parasti tiek izmantoti zemsprieguma un tāda vidsprieguma apstākļos, kas nepārsniedz 15 kV. Eļļas, elegāzes un vakuuma jaudas slēdžus izmanto vidsprieguma tīklos. Eļļas, elegāzes un gaisa jaudas slēdžus izmanto augstsprieguma tīklos.

3.3. Vakuuma jaudas slēdži

Līdzīgi gāzes slēdžiem arī vakuuma jaudas slēdži ir ļoti populāri un tiek uzstādīti jaun-uzceltās vai rekonstruētās apakšstacijās un sadalnēs. Ar tiem aizvieto 35 kV un 6–10 kV eļļas jaudas slēdžus. Vakuuma jaudas slēdžiem ir vienkārša konstrukcija, tie ir kompakti, uzticami un videi draudzīgi. Īpaša vakuuma jaudas slēdžu iezīme ir to spēja dzēst elektrisko loku vakuumā, kamēr strāvu vadošās daļas no zemētajām daļām izolē vakuuma un dielektriska materiāla (porcelāna) kombinācija.

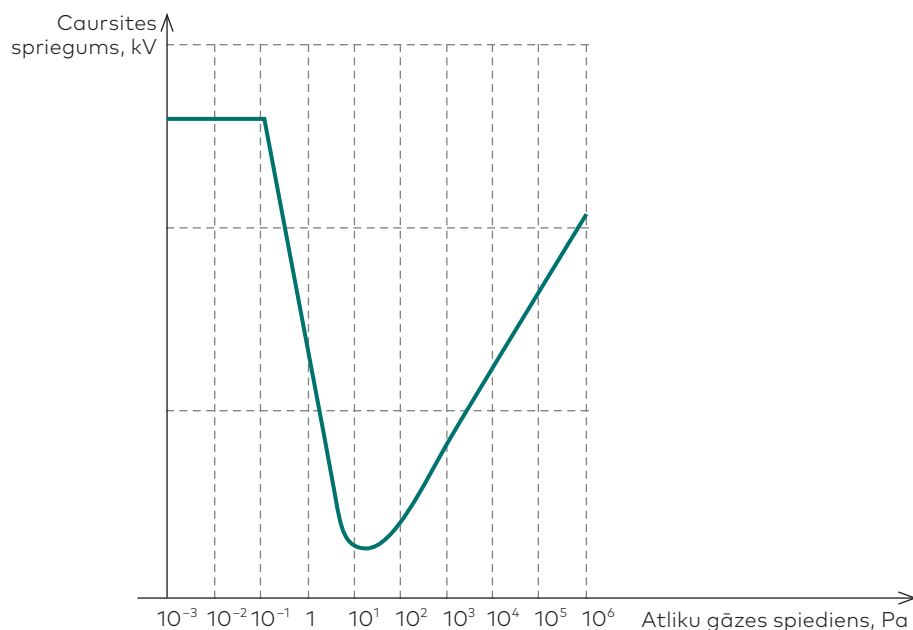
Gāzi saspiežot, pieaug tās elektriskā pretestība. Tomēr fizika māca: samazinoties gāzes blīvumam (rodoties vakuumam), gaisa un gāzes elektriskā pretestība piedzīvo nelineāras izmaiņas. Tāpēc viena no vidēm, kas jaudas slēdžos tiek izmantota, lai dzēstu elektrisko loku, ir vakuums. Jo lielāks vakuums, jo lielāka izolējošās spraugas elektriskā pretestība. Vakuuma spraugas elektriskās pretestības atkarība no spiediena ir ilustrēta 3.1. attēlā.

Jaudas slēdžu kontaktu atvienošana un elektriskā loka uzliesmošana vakuumā rada metāla tvaiku, kas savukārt rada vidi, kurā var plūst strāva. No elektriskā loka teorijas ir zināms, ka elektriskais loks tiek dzēsts, kad strāvas amplitūda sasniedz 0 A. Ja tajā brīdī kontaktus šķir pietiekami liels attālums, metāla tvaiki atkārtoti kondensējas uz kontaktu virsmas. Šādā veidā kontaktu spraugas dielektriskās īpašības uzlabojas, un elektriskais loks tiek droši dzēsts.

Ja vājstrāvas (līdz dažiem kiloampēriem lielas strāvas) tiek atslēgtas, uzliesmojušais elektriskais loks vienmērīgi nosedz plašu kontaktu virsmu, tādējādi radot nelielu un vienmērīgu kontaktu nodilumu.

Vakuuma jaudas slēdžos, kas paredzēti līdz 10 kA stipru strāvu atslēgšanai, izmantoti īpašas konstrukcijas kontakti, kas ļauj radīt spēcīgu aksiālu magnētisko lauku, kas liek elektriskajam lokam rotēt. Šādā veidā spēcīgais elektriskais loks vienmērīgi skar kontaktvirsmu, un maksimāli samazinās to atdalījušos daļiņu daudzums, kas elektrisko lādiņu novada vakuuma spraugā.

Triecienstrāva var rasties, ja vāja inducētā vai kapacitīvā strāva tiek izslēgta brīdī, kad strāvas amplitūda nav sasniegusi 0 A, jo īpaši gadījumos, kad minēto strāvu amplitūda nav vienmērīga (zināmas kā pārtraukumainas strāvas). Lai samazinātu triecienstrāvas risku, vakuuma jaudas slēdžu kontakti tiek izgatavoti no vara, kas vienmērīgi pārklāts ar plānu hroma kārtiņu. Šādi kontakti ir noturīgi pret elektriskā loka ietekmi un novērš triecienstrāvu veidošanos.

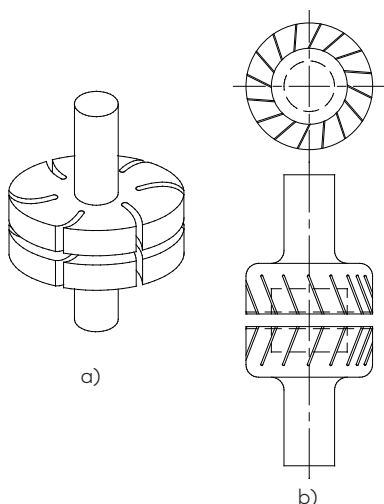


3.1. att. Izolējošās gāzes spraugas elektriskā sprieguma ietekme uz gāzes spiedienu.

Vakuuma jaudas slēdžos izmanto divu veidu kontaktus:

- plakanus kontaktus ar spirālveida iegriezumiem, kas koncentrētam elektriskajam lokam liek virzīties ap kontakta virsmu (radot radiālu elektriskā loka izlādi);
- cilindriskus kontaktus, kas vispārīgi novērš koncentrētā elektriskā loka veidošanos un saglabā to difūzā formā (radot aksiālu elektriskā loka izlādi).

Kontaktu struktūra ar spirālveida iegriezumiem ir parādīta 3.2. attēlā. Kontakti ir veidoti no diskjiem ar zemu konisku kontaktvirsmu vai diskjiem ar izvirzītām apļveida daļām. Izvirzītās apļveida daļas veido kontaktu starp saskares virsmām, un slodzes strāva plūst caur tām.



3.2. att. Vakuuma jaudas slēdžu izplūdes kamerās izmantoto kontaktu struktūra: plakani kontakti ar spirālveida iegriezumiem un zemu konisku kontaktvirsmu (a); cilindriski kontakti (b).

Perifērā virsma kontaktiem ar spirālveida iegriezumiem nesaskaras pat tad, kad kontakti tiek ieslēgti. Spirālveida iegriezumi sadala kontakta virsmu vairākās perifērās virsmās, kas savienojas ar kontakta korpusu tikai tā centrā. Katra kontakta pāra spirālveida iegriezumi ir savstarpēji atbilstoši. Ja šāds kontakts atvieno relatīvi vāju strāvu, kamēr elektriskais loks paliek difūzs, elektriskā loka dzēšana notiek, atvienojot elektriskās strāvas līnijas vienā vai vairākās vietās uz pēdējā kontakta virsmas. Tajā pašā laikā starp atdalītajiem kontaktiem veidojas strāvu vadoši izkusuša metāla tilti, un, ja šādi tilti tiek nošķirti, to vietā uzliesmo elektriskais loks. Uzliesmojošais elektriskais loks ātri vien pārveidojas difūzā elektriskajā lokā ar vairākiem katoda punktiem, kas izkaisīti pa visu virsmu. Sasniedzot kontakta virsmas malu, daži punkti izdziest, bet citi sadalās divos punktos. Sadalīšanās ir proporcionāla caur kontaktu plūstošās strāvas stiprumam. Katoda punkti cenšas izplesties pa visu vai lielu kontakta virsmas daļu.

Spēcīgu strāvu izslēgšanas process, kad elektriskais loks ir koncentrēts, ir atšķirīgs. Gadījumā, ja ir nošķirti viens vai vairāki strāvu vadoši izkusušā metāla tilti, starp kontaktiem uzliesmo koncentrēts elektriskais loks. Atsevišķi katoda punkti atgrūžas viens no otra, pamet elektriskā loka lauku un izdziest aiz tā robežām.

Magnētiskā spēka ietekmē plazmas aukla, kas rada katoda punktus, tiek atvilktā atpakaļ uz centrālo plazmas auklu. Tā kā ieslēgtais kontakts saskaras ar izvirzītajām virsmas apļveida daļām vairāk nekā ar savu ģeometrisko centru, atdalītie kontakti un uzliesmojošais elektriskais loks rada strāvu, kuras forma atgādina ziedpumpuru. Šo formu ietekmē elektrodinamiskie spēki, kas no kontakta ass virzās uz kontakta malu. Elektrodinamiskais spēks cenšas izspiest elektrisko loku ārpus kontakta izvirzījuma un liec to uz āru. Kontakta spirālveida iegriezumi rada radiālu magnētisko lauku starpkontaktu reģionā, un tas papildus ietekmē elektrisko lauku kontakta tangentes virzienā. Tangentes virzienā ietekmētais spēks elektrisko loku virza uz spirālveida iegriezuma malām loka virzienā.

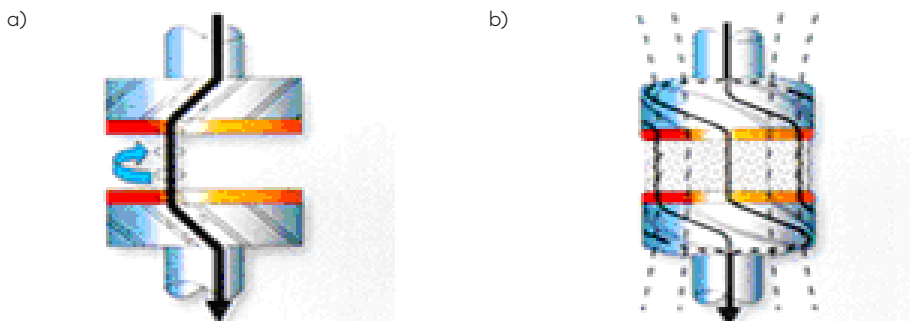
Elektriskā loka rotācija uz kontakta virsmas ir atkarīga no spirālveida iegriezumu izliekuma. Jo lielāks izliekums, jo efektīvāka rotācija.

Koncentrēts elektriskais loks uzkaršē kontaktus. Kontakta un loka savienojuma vietās koncentrējas liels karstums. Tā kā elektriskais loks virzās ap kontakta virsmu vakuuma izplūdes kamerā, tas nevienā brīdī neuzkarst. Tāpēc uzkaršušās kontakta virsmas laukuma dzesēšanas konstante ir daži simti mikrosekunžu. Šādā gadījumā, kad amplitūda tuvojas nullei, koncentrēts elektriskais loks pārveidojas par difūzu elektrisko loku. Pārveidošanās notiek, kad momentānā amplitūdas vērtība sasniedz dažus kiloampērus. Atslēdzot išslēguma strāvas, loka veidošanās notiek 400–500 μ s līdz amplitūda sasniedz nulli. Veidošanās ilgums ir atkarīgs no atslēgtās ķēdes parametriem un išslēguma strāvas aperiodiskās komponentes. Ar tik ilgu laiku pietiek, lai sakarsušā kontakta virsma atdzistu līdz temperatūrai, kurā metāla tvaika spiediens ir relatīvi zems un var ietekmēt elektriskā loka dzēšanu.

Cilindriskie kontakti (3.2. b attēls) ir veidoti kā cilindrs, un tiem ir biezas sienas. Kad ieslēgti, tie saskaras tikai ar sienas malu. Kontakta malām ir diagonāli iegriezumi. Katra kontakta pāra griezumam ir pretēji.

Kad kontakti ir atdalīti, starp tiem veidojas izkusušā metāla tilti, kuru skaits ir atkarīgs no atvienotās strāvas jaudas. Atvienotie tilti veido paralēli savienotus elektriskos lokus, kas ir apli izkaisīti ap kontaktu. Pēc tam, kad izkusušā metāla tilti tiek atdalīti un elektriskais loks uzliesmo, rodas induktivitāte, kurai ir noteikta vērtība, lai arī neliela. Elektriskā loka rezultātā rodas radiāli magnētiskie lauki. Tos veido strāva, kura plūst caur diagonālajiem iegriezumiem. Magnētiskā lauka ietekmē elektriskā lauka plazmas auklas pārvietojas pa kontakta apļa virsmu. Rotācijas virzienu nosaka pēc kreisās rokas likuma. Katoda punkti virzās pretēji elektriskajam lokam. Tāpēc izolējošā spraugā veidojas pastāvīgs difūzs elektriskais loks, kas nevar pārvērsties par koncentrētu elektrisko loku.

Elektriskā loka kustība izolējošā spraugā starp kontaktiem ar dažādiem iegriezumiem ir parādīta 3.3. attēlā.



3.3. att. Elektriskā loka kustība izolējošā spraugā starp kontaktiem ar dažādiem iegriezumiem.

3.3. a attēlā redzams kontaktu pāris, kas rada radiālu elektriskā loka izlādi. Specifiska kontakta iegriezumu forma veido radiālus spēkus, kas ietekmē elektrisko loku un liek tam rotēt izolējošā spraugā starp kontaktiem. Pateicoties tam, elektriskais loks tiek veiksmīgi atzdesēts un nesadedzina elektriskā loka izplūdes kameras kontakta virsmu. Šādiem kontaktiem ir zema atslēgšanas spēja.

3.3. b attēlā redzams kontaktu pāris, kas rada aksiālu elektriskā loka izlādi. Kontakts ar šādiem iegriezumiem rada difūzu elektrisko loku, bet tā kontaktiem ir augsta atslēgšanas spēja [7].

Salīdzinājumā ar tradicionālajām izplūdes kamerām vakuuma elektriskā loka izplūdes kamerām ir vairākas priekšrocības:

- pārslēdzot nominālās strāvas parastā darba režīmā un išslēguma strāvas, rodas tikai neliels kontaktu virsmas nodilums;
- ārkārtīgi ātra elektriskās pretestības atjaunošanās starp slēgtajiem kontaktiem izolējošā spraugā;

- nav uguns un eksplozijas riska pat tad, ja jaudas slēdzis ir uzstādīts agresīvā vidē, kas ir jutīga pret uguni un eksploziju;
- plašs darba temperatūru loks (no -70 °C līdz $+200\text{ °C}$);
- no elektriskā lauka izplūdes kameras neatkarīga darba pozīcija;
- mazs kontakta gājiens, kas ļauj nodrošināt ātru pārslēgšanu;
- viegla uzturēšana darbības laikā, kas ļauj samazināt ar darbību saistītos izdevumus;
- mazs troksnis pārslēgšanas brīdī;
- nepiesārņo vidi.

4. KOPNES UN IZOLATORI: KOPŅU UZDEVUMS, KLASIFIKĀCIJA UN UZBŪVE

Komplekss elektriskais aprīkojums (piemēram, sadalnes) parasti sastāv no dažādām elektroierīcēm un instrumentiem (jaudas slēdžiem, slodzes slēdžiem, mērmaiņiem u. c.). Lai elektriskais aprīkojums darbotos pienācīgi, to veidojošajām elektroierīcēm un instrumentiem ķēdē ir jābūt pieslēgtiem noteiktā secībā. Elektroierīces un instrumenti, kas veido ķēdi, parasti tiek slēgti virknē, bet dažas virknes ir slēgtas paralēli.

Dažādas elektroierīces ķēdē savstarpēji saista izolēti vai neizolēti strāvas vadītāji.

Elektroierīču uzstādīšanas normas nosaka, ka strāvas pievads ir elektroierīce, ar kuru elektroenerģiju izvada laukā no izolētiem vai neizolētiem vadītājiem un balstizolatoriem, aizsargkonstrukcijām, atbalsta struktūrām.

Neizolētus strāvas pievadus sauc par kopnēm, un tās tiek izolētas ar kabeļiem. Kopnes parasti veido no šiem materiāliem:

- vara;
- alumīnija;
- alumīnija sakausējumiem;
- tērauda.

Vara kopnes, kam ir laba īpatnējā elektrovadītspēja, augsta mehāniskā izturība un noturība pret gaisā esošo ķīmisko piesārņojumu, ir dārgas. Alumīnija kopnēm salīdzinājumā ar vara kopnēm ir mazāka īpatnējā elektrovadītspēja un mehāniskā izturība, bet tās ir vieglākas un salīdzinoši lētas. Turklāt alumīnijs ir izdevīgs arī tāpēc, ka, īsslēguma laikā uzliesmojot elektriskajam lokam, no alumīnija izdalās nevadāsi alumīnija oksīda putekļi, kas pēc nosēšanās uz izolatoru virsmas nepasliktina to izolējošās īpašības.

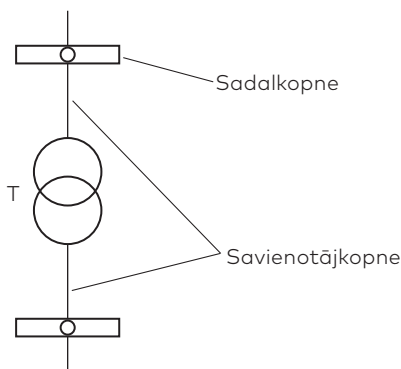
Izvērtējot kopņu specifiku, dažās sadalnēs tiek izmantotas alumīnija sakausējuma (piemēram, AlMgSi 0,5 vai citas) kopnes. Salīdzinājumā ar alumīnija kopnēm tām ir lielāka mehāniskā izturība.

Tērauda kopnēm piemīt vislielākā mehāniskā izturība, zemākā īpatnējā elektrovadītspēja, augsta pārmagnetizēšana un virpuļstrāvas, tāpēc tās visbiežāk izmanto, lai elektriskajā aprīkojumā ieslēgtu zemējuma ķēdi.

Pēc funkcijām sadalnes kopnes iedala:

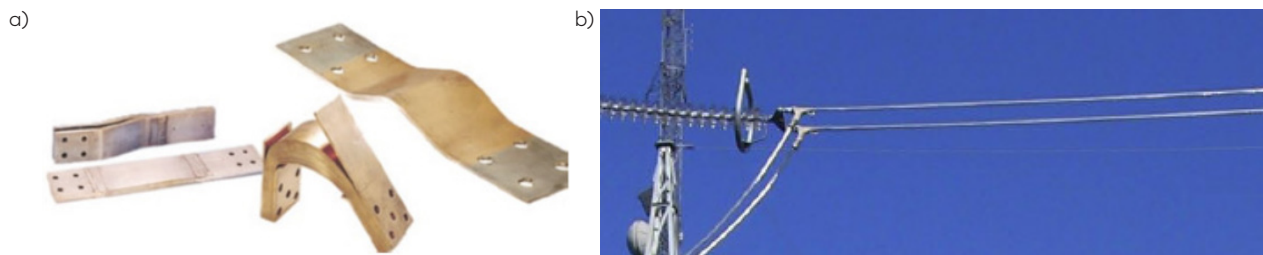
- sadalkopnēs – saņem elektroenerģiju no elektrības barošanas ķēdes un pārveda to patērētāju ķēdēs;
- savienotājkopnēs – atsevišķas elektroierīces pievieno ķēdei.

4.1. attēlā parādīti sadalkopņu un savienotājkopņu grafiskie apzīmējumi.

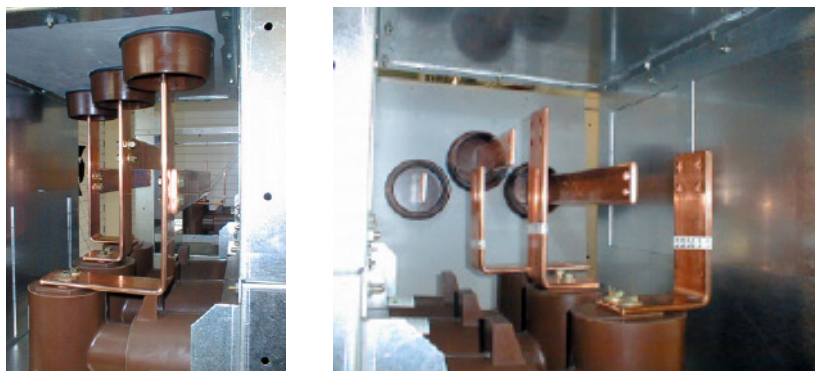


4.1. att. Sadalkopņu un savienotājkopņu grafiskais simbols shēmās.

Pēc uzbūves sadalnes kopnes iedala lokanās un stingrās. 4.2. attēls iepazīstina ar dažiem lokano savienotājkopņu piemēriem, bet 4.3. attēlā parādītas stingrās savienotājkopnes.



4.2. att. Gāzes sadalnes pievienojums cilindriskajām kopnēm ar lokanām kopnēm (a); lokano kopņu pievienojums balstam (b).



4.3. att. Stingrās kopnes nodalījumā.

Stingrās kopnes tiek izmantotas zemāka sprieguma sadalnēs, kā arī augstsprieguma aprīkojuma slēgtajās sadalnēs. Lokanās kopnes izmanto augstsprieguma aprīkojuma brīv-gaisa sadalnēs.

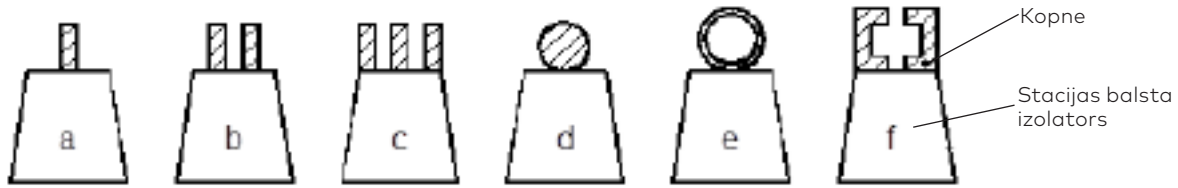
Mūsdienās stingrās cilindriskās kopnes izmanto tikko uzstādītās vai atjauninātās brīv-gaisa sadalnēs. Cilindriskās kopnes ir redzamas 4.4. attēlā.



4.4. att. Cilindriskās kopnes.

Stingrajām kopnēm var būt dažādi šķērs griezumi (4.5. att.). Pēc šķērs griezuma veida stingrās kopnes iedala:

- taisnstūra (4.5. a, b, c att.);
- apaļas (4.5. d att.);
- cilindriskas (4.5. e att.);
- kastes veida (4.5. f att.);

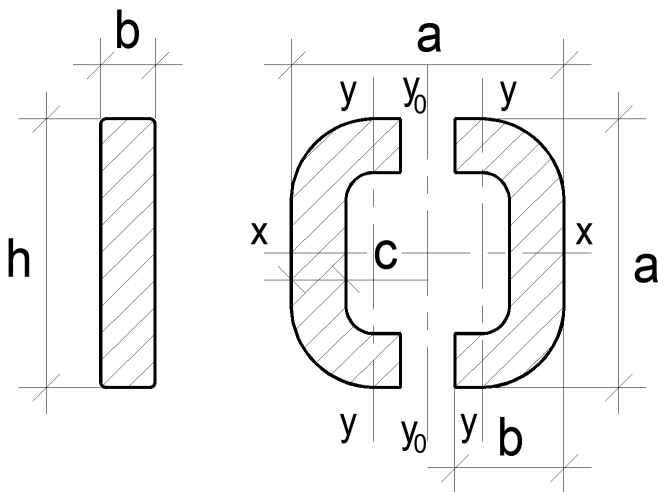


4.5. att. Biežāk izmantoto kopņu šķērs griezumus.

Taisnstūra profila kopnes elektroiekārtās izmanto visbiežāk, jo to izgatavošanā salīdzinājumā ar apaļajām kopnēm tiek izmantots mazāk metāla, un to dzesēšana ir efektīvāka (salīdzinājumā ar tāda paša šķērs griezumuma apaļajām kopnēm tām ir lielāks virsmas laukums). Turklāt virsmas efekta ietekmes rezultātā taisnstūra šķērs griezumuma kopnēm salīdzinājumā ar tāda paša šķērs griezumuma apaļajām kopnēm ir lielāka elektriskā pretestība, ja plūst maiņstrāva. Šī iemesla dēļ ilgstoši pieļaujamā strāva taisnstūra kopnēm salīdzinājumā ar tāda paša laukuma apaļajām kopnēm ir lielāka. Taisnstūra kopņu labākie dzesēšanas apstākļi tiek sasniegti, kad to malu proporcija b/h ir robežās no $1/5$ līdz $1/12$. Kopnes joslu uz izolatora var piemontēt aiz malām vai pie plakanās virsmas. Kopne, kas pie izolatora piestiprināta ar plakano virsmu, atdziest efektīvāk, bet šādi piemontētai virsmai ir lielāka pretestība pret išslēguma strāvu elektrodu ietekmi.

Kastes veida kopnes tiek izmantotas ļoti augsta sprieguma elektroierīcēs. Šādām kopnēm ir trausls apvalks un tuvuma efekts, kā arī salīdzinoši laba atdzišana. Stingrā konstrukcija, ko veido divas kastes profila kopnes, ir ļoti noturīga pret išslēguma strāvu elektrodu ietekmi.

Vienjoslas kopnes un no divām kastes profila kopnēm veidotās kopnes sistēmas izmēri ir parādīti 4.6. attēlā.



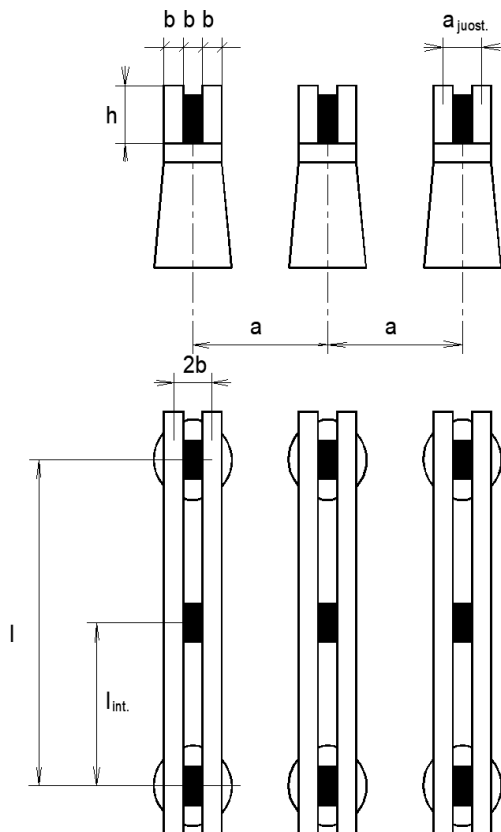
4.6. att. Vienas joslas taisnstūra profila kopnes un no divām kastes profila kopnēm veidotās kopnes izmēri.

Taisnstūra profila kopnes tiek uzstādītas sistēmās, ko veido stiprstrāvas elektroaprīkojuma vairākas paralēlas joslas. Atkarībā no paralēlo joslu skaita fāzē stingrās kopnes iedala:

- vienjoslas;
- divjoslu;
- trīsjoslu;
- četrjoslu.

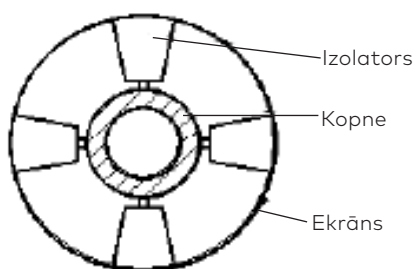
Attālums starp kopnes joslām sistēmā ir vienāds ar kopnes joslas biezumu. Lai arī, palielinot joslu skaitu vienā fāzē, pasliktinās visas sistēmas atdzišana, ilgstoši pieļaujamās strāvas pieaugums nav proporcionāls joslu skaitam, bet gan ir ievērojami mazāks. Divjoslu kopņu sistēmā caur joslām plūst vienāda strāva. Ja sistēmu veido vairāk nekā divas joslas, rodas tuvuma efekts un strāva, kas plūst caur vidējām joslām, ir vājāka, nekā tā, kas plūst caur malējām joslām.

Starp sistēmas kopnes joslām tiek ievietoti ieliktni. Tas palielina konstrukcijas elektrodinamisko pretestību [1]. Sistēma, kas sastāv no divjoslu taisnstūra profila kopnēm, kā arī šādas sistēmas galvenie lielumi ir parādīti 4.7. attēlā.



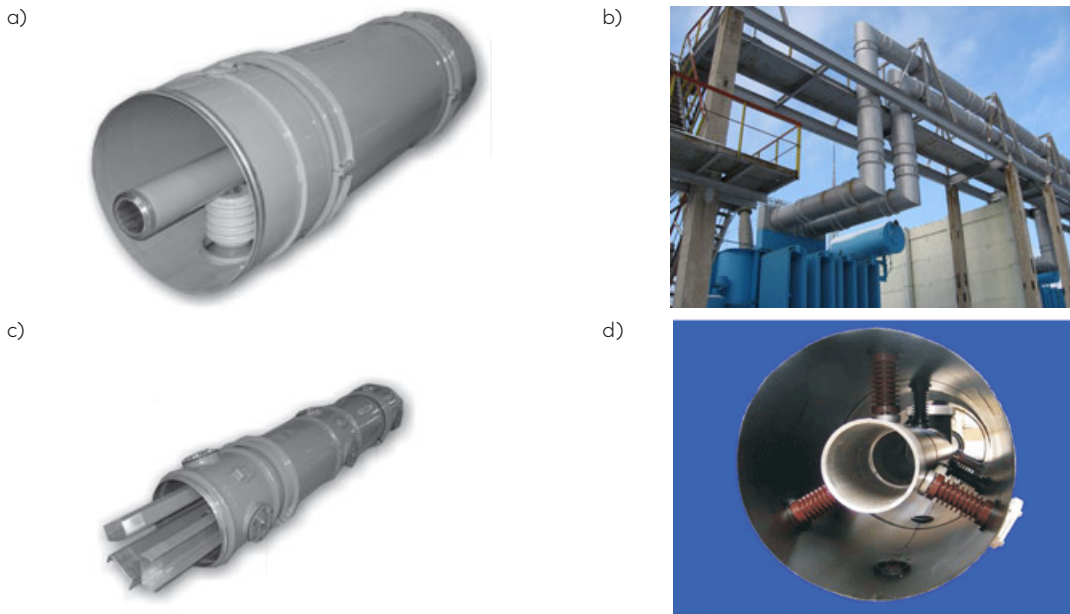
4.7. att. Sistēma, kas sastāv no divjoslu taisnstūra profila kopnēm, kā arī šādas sistēmas galvenie lielumi.

Spēkstacijas, kuru elektroaprīkojums ģenerē spriegumu, izmanto cilindriskā vai kastes profila ekranēta kopņu sistēmas. Tās tiek uzstādītas uz metāla pārsega (ekrāna) izolatoros, kuru skaits var būt no viens līdz četri. 4.8. attēlā ir redzama šāda ekranēta kopņu sistēma.



4.8. att. Cilindriska profila ekranēta kopņu sistēma ģenerētā sprieguma sadalnei.

4.9. attēlā ir parādīti dažādi ekranēto kopņu sistēmu veidi.



4.9. att. Ekranētas kopņu maģistrālās sistēmas atsevišķa TENE fāze (a); piemērs spēka transformatora un sadalnes savienojumam ar ekranētu kopņu maģistrālo sistēmu (b); trīsfāžu ekranēta kopņu maģistrālā sistēma ŠZK (c); ekranētas kopņu maģistrālās sistēmas atsevišķa EGE fāze (d).

Sadalnē stingrās kopnes var tikt novietotas šādi:

- horizontāli;
- vertikāli;
- taisnstūrleņķa trijstūra virsotnē;
- vienādsānu trijstūra virsotnē.

PRAKTISKAIS DARBS

Mācību ietvaros praktiskais darbs tiek veikts, kad studenti ir iepazinušies ar mācību programmas “Elektrostaciju un apakšstaciju elektroiekārtas” metodoloģisko materiālu un ir sagatavojušies, izmantojot darba vietas datoros uzinstalēto programmatūru, atbilstoši sniegtajiem laboratorijas darbu aprakstiem.

Praktiskais darbs tiek veikts, izmantojot *ENT5* vienfāzes un trīsfāžu transformatora standus.

1. Vienfāzes transformatora tukšgaitas sprieguma un strāvas izpēte.
2. Pētījums, lai noteiktu vienfāzes transformatora transformācijas koeficientu.
3. Vienfāzes transformatora gaitas strāvas un sprieguma izpēte.
4. Zudumu izpēte vienfāzes transformatorā.
5. Paaugstinošo un pazeminošo autotransformatoru galvenie parametri.
6. Trīsfāžu transformatora simetriskās slodzes un nesimetriskās slodzes izpēte, ņemot vērā transformatora slēguma grupu.

Praktiskie darbi tiek veikti, izmantojot *MINI-EEEC* vēja energoiekārtas standu.

1. Izpēte: vēja energoiekārtas ģenerators parametri pie dažāda vēja ātruma.
2. Izpēte: slodzes ietekme uz spēkstacijas ģeneratoru.
3. Izpēte: lietderības koeficients un saražotās elektrības atkarība no vēja ātruma.

Piezīme: Visi laboratorijas darbi tiek veikti, izmantojot standu *MINI-EEEC* un *SCADA* uzraudzības kontroles sistēmu.

Praktiskie darbi tiek veikti, izmantojot *PME 500 TR* augstsprieguma jaudas slēdža analizatoru.

1. Augstsprieguma *VV/TEL* vakuuma jaudas slēdža izpēte.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. A. Kavaliauskas. *Elektrinės ir pastotės mokymo/si medžiagos rinkinys*. Kaunas, 2011.
2. P. Balčiūnas, V. Adomavičius. The Concept of Electric Energy Conversion in Microhydro Electric Power Plant. In: *Proceedings of the International Conference on Small Hydropower, 23–25 May, 2001*. Kaunas: Akademija, Lithuania.
3. Elektros įrenginių įrengimo bendrosios taisyklės patvirtintos Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2012 m. vasario 3 d. įsakymu Nr. 1-22.
4. AB “Litgrid”. *Lietuvos elektros energetikos sistemos ir perdavimo tinklų plėtra 2015–2024 metai*. Vilnius, 2015.
5. Valstybinė kainų ir energetikos kontrolės komisija. *Lietuvos elektros energetikos sistemos patikimumo įvertinimo ataskaita už 2015 metus*. Vilnius, 2016.
6. V. Zaveckas. *Elektrotechnikos pagrindai: mokomoji knyga*. Vilnius: Technika, 2012.
7. Electro Sistem. *Olajszigetelésű transzformátorok*. [tiešsaiste]. Pieejams: http://electro-sistem.com/hu_HU/transformatoare-ermetice-in-ulei/ [Skatīts 2018. g. 16. novembrī].
8. Regency power. [tiešsaiste]. Pieejams: <http://www.regencypower.com.bd/power/ht-switchgear/> [Skatīts 2018. g. 12. janvārī].

Par šī dokumenta saturu atbildību uzņemas Kauņas Lietišķo zinātņu universitāte. Šis materiāls nekādā gadījumā neatspoguļo Eiropas Savienības viedokli.