

Rīgas Tehniskā universitāte  
Enerģētikas institūts  
Elektroapgādes katedra

---

# AUGSTSPRIEGUMA IETAIŠU PARAMETRU MĒRĪŠANA

Mācību programma

---

**N. Baršiukaitis. Augstsprieguma ietaišu parametru mērīšana.** Mācību programma. Rīga, RTU Izdevniecība, 2019. 41 lpp.

Metodiskais līdzeklis veidots kā mācību programma, kā apgūšanas rezultātā dalībnieki iegūs un uzlabos zināšanas par energotiklu mērierīcēm, normatīvo regulējumu mērījumu un testu jomā, elektrotīkla uzdevumiem un pienākumiem. Mācību materiāls sastāv no teorijas un praktiskās daļas (trīs laboratorijas darbiem).

Šajā metodiskajā materiālā analizētā, apkopotā un aplūkotā informācija ļaus veikt elektroietaišu novērtēšanu un darbības kontroli, raksturot augstsprieguma elektroietaisēs radušās daļējas izlādes raksturlienes, kā arī diagnosticēt ietaišu stāvokli. Tiks sniegts izklāsts par izolācijām un tās bojājuma riskiem, sistēmu pārbažu un diagnostikas apjomiem un biežumiem.

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 978-9934-22-207-8 (pdf)

MĀCĪBU PROGRAMMAS APRAKSTS .....	4
IEVADS .....	6
1. ENERĢOTĪKLS.....	7
1.1. Enerģotīkla struktūra.....	7
1.2. Elektrotīkli .....	8
2. ELEKTROIETAIŠU NOVĒRTĒŠANA .....	10
3. ELEKTROIETAIŠU TESTĒŠANU REGULĒJOŠIE TIESĪBU AKTI	14
4. ELEKTROIETAIŠU DARBĪBAS KONTROLES UN DIAGNOSTIKAS METODES .....	18
4.1. Transformatoru diagnostikas metodes .....	18
4.2. Izolācijas pārbaude ar impulsspriegumu.....	20
4.3. Tiešās izolācijas pārbaudes metodes .....	23
5. AUGSTSPRIEGUMA IETAIŠU DIAGNOSTIKA, NEATSLĒDZOT SPRIEGUMU.....	26
6. PRAKTISKIE UZDEVUMI.....	30
1. laboratorijas darbs Polarizācijas indeksa un dielektriķa izlādes koeficienta mērīšana .....	34
2. laboratorijas darbs Izolācijas pretestības mērīšana pie noteikta fiksēta sprieguma.....	36
3. laboratorijas darbs Izolācijas pārbaude ar paaugstinātu spriegumu .....	38
LITERATŪRA .....	40

# MĀCĪBU PROGRAMMAS APRAKSTS

Mācību programmas dalībnieki tiks iepazīstināti ar augstsprieguma elektroietaišu izolācijas sistēmām, testēšanas normām un apmēriem, tradicionālām un netradicionālām testēšanas metodēm un testēšanas specifiku, elektroietaišu tehniskā stāvokļa novērtēšanu un uzraudzību, diagnostikas organizēšanu, augstsprieguma ietaišu galveno diagnostikas metožu analīzi un šo metožu lietošanas iespējām, kā arī iegūto rezultātu sistematizāciju un novērtēšanu.

## Minimālās prasības dalībai mācību programmā

Augstākā, koledžas līmeņa, vidējā speciālā vai tam pielīdzināma izglītība elektrotehnikas vai inženiertehnisko zinātņu jomā\*. (\*Tie, kas ieguvuši izglītību inženiertehnisko zinātņu jomā, un tie, kas ir pabeigšu kādas izglītības iestādes vai uzņēmuma kursus (mācību programmas), kas sniedz nepieciešamās zināšanas elektrotehnikas jomā.)

## Piešķiramā profesionālā kvalifikācija

Personām, kas pabeidz mācību programmu "Augstsprieguma ietaišu parametru mērīšana", netiek piešķirta nekāda profesionālā kvalifikācija.

## Mācību programmas mērķi un uzdevumi

Sniegt zināšanas par saistību starp augstsprieguma elektroietaišu darbības sniegumu un izmērītajiem parametriem; attīstīt kognitīvās spējas: sistematizēt iegūtos rezultātus un izdarīt secinājumus; attīstīt šādas praktiskās spējas: lietot dažādas diagnostikas metodes, attīstīt pārnesamās prasmes, proti, izvērtēt elektroietaišu pārbaudes un testēšanas principus.

## Mācību programmā (kursā) izmantotās mācību metodes

Izmantotās mācību metodes ir lekcijas (teorētiskā daļa) un praktiskā apmācība (praktiskā daļa). Teorētiskās nodarbības notiek auditorijā, kas ir aprīkota ar datoriem un ierīcēm vizuālā materiāla demonstrēšanai. Teorētiskais materiāls ir sadalīts tēmās, un tā ietvaros tiks aplūkoti arī praktiskie piemēri. Praktiskā apmācība notiek augstsprieguma enerģotikla laboratorijā. Gala pārbaudījums ir eksāmens, kas notiek pēc mācību kursa "Augstsprieguma ietaišu parametru mērīšana" pabeigšanas.

## Mācību programmas ilgums un plāns

Mācību programmas "Augstsprieguma ietaišu parametru mērīšana" ilgums ir 8 stundas.

Nr.	Tēma	Stundu skaits	
		Teorētiskā daļa	Praktiskā daļa
1.	Enerģotikla struktūra	0,5	
2.	Testu normatīvā bāze	1	
2.1.	Augstsprieguma diagnostikas objekti	1	
2.2.	Darbības kontroles un elektroietaišu diagnostikas metodes	1	3,5
2.3.	Elektroietaišu stāvokļa novērtēšana	1	
Stundas kopā		8	

## Klausītāju skaits grupā

Maksimālais klausītāju skaits grupā ir 8.

## Mācību programmas moduļu īss apraksts

Dalībnieki, kas veiksmīgi pabeiguši mācību programmu “Augstsprieguma ietaišu parametru mērīšana”, iegūs un uzlabos zināšanas par energotīklu mērierīcēm, normatīvo regulējumu mērījumu un testu jomā, elektrotīkla uzdevumiem un pienākumiem.

## Zināšanu un prasmju novērtēšanas metodes un kritēriji

Dalībnieki, kas veiksmīgi pabeiguši mācību programmas “Augstsprieguma ietaišu parametru mērīšana” teorētisko daļu un veikuši praktisko uzdevumu, saņemot vērtējumu 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 ir apguvis elektroiekārtu un to elementu funkcionālo nozīmi un savstarpējo saistību	Students pareizi nosaka elektroiekārtu un to elementu funkcionālo nozīmi un savstarpējo saistību atbilstoši iekārtu darbības nolūkam un darba vietai
Students spēj analizēt strādājošo elektrisko iekārtu tehniskos parametrus un pazīmes	Students spēj atlasīt nepieciešamo augstsprieguma ierīces diagnostikas metodi un spēj analizēt testa rezultātus pienācīgi un atbilstoši prasībām
Students zina, kā ievērot tiesību aktus un standartus	Students, vērtējot testa rezultātus, pienācīgi ievēro piemērojamās tiesību aktus un standartus un spēj sistematizēt iegūtos rezultātus un izdarīt secinājumus

## Nepieciešamie mācību līdzekļi

- Vizuālie materiāli: statīvi, plakāti.
- Universāls augstsprieguma ietaišu daļējas izlādes detektors–analizators (*Doble DFA300*).
- Ommetrs līdz 5 kV ar izolācijas absorbcijas un polarizācijas koeficientu (*Metrel TeraOhm 5kV: MI 2077*).
- Ommetrs līdz 2,5 kV ar izolācijas absorbcijas koeficientu (*Metrel MI 3121H*).
- Augstsprieguma un zemsprieguma kabeļu detektors un meklēšanas ierīce (*C.A.T4+* un *Genny 4*).

## IEVADS

Svarīgākais faktors, kas nodrošina elektroietaišu kvalitāti un uzticamību, ir to izolācija. Ja tīkla elementu darbība ir uzticama, energosistēma darbojas ekonomiski un kvalitatīvi. Aprīkojuma atbilstoša uzturēšana un laicīgs remonts lielā mērā nosaka to, vai elektroiekārtu darbība ir uzticama. Lai pienācīgi uzturētu ietaišu izolāciju, ir nepieciešams analizēt to ietekmējošos faktorus un to dabu [2], [13], [20], [22].

Energosistēma ģenerē vairākus negatīvus faktorus, piemēram, pārsprieguma impulsu, daļēju izlādi u. c. [7]. Tie ietekmē augstsprieguma elektroietaišu izolācijas stāvokli un kalpošanas laiku. Šie faktori ietekmē uzņēmumu un spēkstaciju izmantotās augstsprieguma elektriskās mašīnas, sadalnes un kabeļus.

Spēcīga elektriskā lauka, pārsprieguma impulsa, izlādes, mitruma, siltuma, oksidācijas, vibrācijas, novecošanās procesu un citu apstākļu ietekmē elektriskajām ierīcēm rodas dažādi defekti [4], [5], [7], [14], [26], [28]. Izolācijas stāvokli un defektu rašanos galvenokārt ietekmē pārsprieguma impulss, siltums un to radītā daļējā izlāde. Pārsprieguma amplitūda un ilgums elektrotīklā ir dažāds. Elektroietaišu darba temperatūra un pārsprieguma impulss pārsvarā palielina daļējas izlādes līmeni un paātrina elektroietaišu izolācijas novecošanās procesu [9], [23], [24].

Elektroietaišu uzticamu darbību var nodrošināt, veicot regulāru testēšanu un mērījumus. Veicot dažus mērījumus, testējamā elektroierīce ir jāizslēdz. Šī iemesla dēļ tiek veiktas īslaicīgas izmaiņas ķēdē, kas samazina elektrotīkla uzticamību. Turklāt šādi testi rada zaudējumus dīkstāves dēļ.

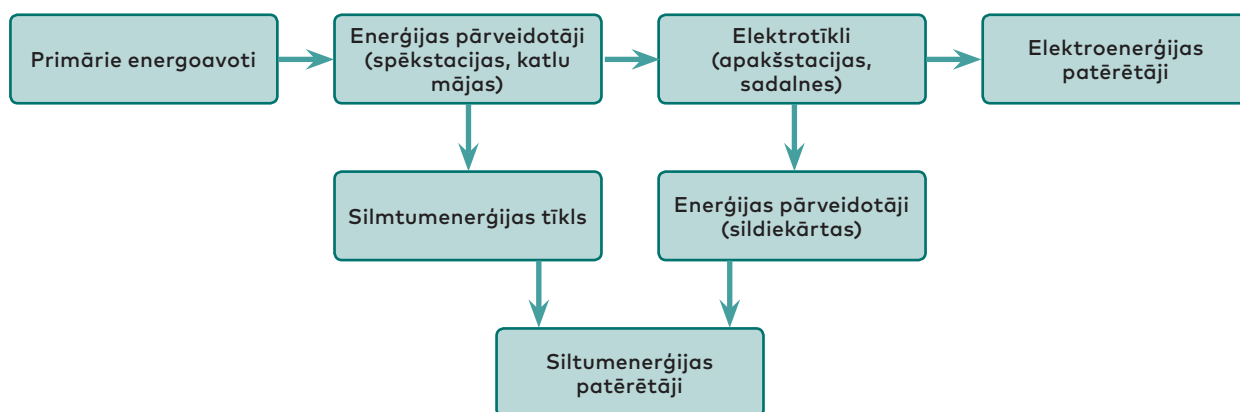
Šobrīd augstsprieguma elektroietaišu uzturēšana un remonts notiek regulāri plānotu remontdarbu ietvaros pēc noteikta laika intervāla. Attiecībā uz elektroiekārtas darbību šāda metode nav visai piemērota, jo izolācijas stāvoklis var mainīties ļoti dažādi. Būtisks veids, kā optimizēt šādu sistēmu, ir veikt elektroiekārtu remontu atbilstoši to izolācijas faktiskajam stāvoklim. Šādas sistēmas, kad sadaļņu vai kabeļu izolācijas stāvoklis tiek pētīts, neizslēdzot darba spriegumu, ir ļoti daudzsoļas [1], [3], [8]. Vērojot un analizējot augstsprieguma elektroietaišu izolācijas temperatūru un darba spriegumu, ir iespējams noteikt iekšējās izolācijās un citu komponentu tehnisko stāvokli un novērtēt avārijas risku.

Šajā metodiskajā materiālā analizētā, apkopotā un aplūkotā metode ļauj novērtēt augstsprieguma elektroietaisēs radušās daļējas izlādes raksturlīknes, kā arī diagnosticēt šādu ietaišu stāvokli.

# 1. ENERGETĪKLS

## 1.1. Energotīkla struktūra

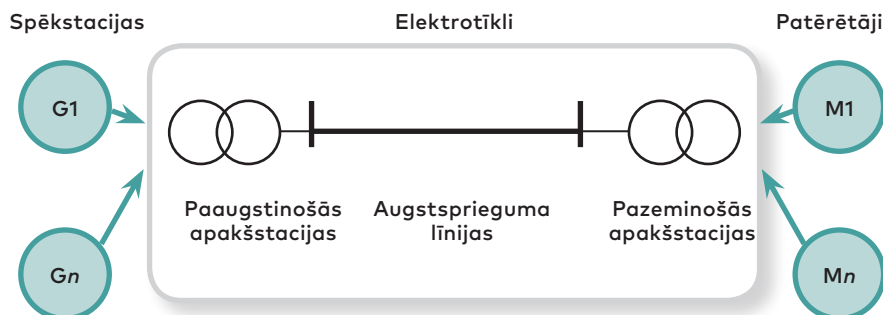
Energotīkls ir spēkstaciju, elektrotīklu un siltumtīklu, kā arī elektrības lietotāju kombinācija, ko vieno elektrības un siltuma nepārtraukta ražošana, pārvade, sadale un lietošana. Energotīklu var iedalīt divās, bieži vien savstarpēji saistītās daļās: siltumenerģijas tīkls un elektroenerģijas tīkls. Siltumenerģijas tīkls ražo un pārvada siltumu relatīvi nelielā teritorijā: pilsētā, uzņēmumā u. c. Elektrības ražošana, pārvade un patēriņš elektrotīklā sedz plašas teritorijas, piemēram, atsevišķas valstis vai pat vairākas valstis kopā. Elektroenerģijas tīkls – elektroietaišu kopums, kas izveidots elektroenerģijas ražošanai, pārvadei un sadalei (1.1. att.).



1.1. att. Elektroenerģijas tīkla struktūra.

Energotīkla attīstība aizsākās 20. gadsimta divdesmitajos gados, kad spēkstacijas sāka pievienot elektrotīkliem, lai celtu elektroapgādes efektivitāti un uzticamību. Energotīkla daļu, kas ģenerē, pārvada un sadala elektrību, parasti sauc par **elektroapgādes sistēmu**. Tās galvenās sastāvdaļas ir **spēkstacijas**, ko savieno **elektropārvades tīkli**, no kuriem ar **sadales elektrotīklu** starpniecību elektrība nonāk patērētāju ierīcēs.

Pašu vienkāršāko elektroapgādes sistēmu veido divas spēkstacijas (ģeneratori), kas ieslēgtas elektrotīklā. Elektroapgādes sistēmu veidošana pasaulē sākās 20. gadsimta sākumā. Lietuvā – tikai 1956. gadā. Petrašūnas (*Petrašiūnai*) un Rēķīvas (*Rėkyva*) spēkstacijas tika savienotas ar 110 kV elektrolīniju, kas šķērsoja Panevėžu. Tas iezīmē Lietuvas energoapgādes tīkla aizsākumu.



1.2. att. Elektrotīkla elementi.

Elektrotīkla darbībai ir vairākas tehnoloģiskas pazīmes, kas to atšķir no citiem pasākumiem.

- Elektrības ražošana un patērēšana notiek vienlaikus – ir praktiski neiespējami uz-

krāt elektrības (ražošanas) krājumus elektrotīklā. Ik brīdi elektrotīklam ir jāsarāžo tikai tas elektrības daudzums, ko tobrīd pieprasa patērētāji. Un pretēji – jebkurā noteiktā mirklī elektrības patērētāji var patērēti tikai tik daudz elektrības, cik spēkstacijas tobrīd saražo.

- Elektrotīklā procesi notiek ļoti ātri, daži no tiem, piemēram, elektromagnētiskie procesi, notiek gandrīz gaismas ātrumā. Šādus procesus var kontrolēt tikai automātiskas ierīces. Tāpēc elektrotīkli ir visautomatizētākā ekonomikas nozare.
- Elektrotīkla objekti, kas piedalās vienotā tehnoloģiskā procesā, atrodas tālu viens no otra, desmitiem un pat simtiem kilometru tālu. Tas sarežģī elektrotīkla procesu vadību.
- Pieprasījums pēc elektrības aizvien pieaug, un elektroapgāde nosaka gan ekonomikas progresu, gan dzīves kvalitāti. Lai apmierinātu nerimstoši pieaugošo pieprasījumu pēc elektrības, ir nepieciešams pastāvīgi vairot pieejamo jaudu un modernizēt esošās iekārtas. Kamēr elektrotīkla projekta īstenošana ilgst desmit gadus vai nedaudz vairāk, spēkstacijas mūžs sasniedz 40–60 gadu. Tāpēc elektrotīkla attīstībai ir nepieciešams ilgtermiņa redzējums, un tā attīstībai ir jāsniedzas tālāk par ekonomisko izaugsmi, lai elektronozare nekavētu vispārējo progresu.

Sistēmas **vadības centri** (dispečeru punkti) koordinē visu sistēmas komponentu darbu, bet **informācijas sistēmas** elektrotīkla vadības centriem nodrošina nepieciešamo informāciju. Galvenais enerģotīkla vadības centra (dispečeru punkta) uzdevums ir koordinēt spēkstaciju darbību un sadalīt elektrotīkla agregātu slodzi starp ģeneratoriem, proti, noteikt, cik daudz elektroenerģijas katram ģeneratoram jāsarāžo, lai apmierinātu visu patērētāju pieprasījumu pēc elektrības. Teritoriju, kurā vadības centrs nodrošina līdzsvaru starp elektrības pieprasījumu un piedāvājumu, sauc par **kontroles zonu**.

Integrētu enerģotīklu vadība ir sarežģīta ne tikai tāpēc, ka kontrolējamie objekti ir izkaisīti plašā teritorijā, bet arī tāpēc, ka rodas aizvien jaunas enerģotīkla iezīmes. Starptīklu savienojumiem ir ierobežota caurlaidspēja, tāpēc ir jāveic īpaši pasākumi, lai novērstu pārslodzes radītus elektropadeves pārtraukumus un ar tiem saistīto iekļaušanos tīkla darbībā.

Eiropā darbojas vairākas enerģotīklu asociācijas – integrētie enerģotīkli. Pēc noklātas platības lielākie ir *UCTE*, *IPS/UPS* un *NORDEL*. Lietuvas enerģotīkls ietilpst *IPS/UPS* tīklā. Lietuvas stratēģiskais mērķis ir pieslēgties Polijas elektrotīklam, kas ir daļa no *UCTE*.

## 1.2. Elektrotīkli

Elektrība no elektroenerģijas ģeneratoriem nonāk elektrotīklā. Elektrības pārvades tīklu veido elektropārvades līnijas un apakšstacijas, kur elektrolīnijas tiek savienotas. Lai nodrošinātu elektropārvades tīkla uzticamību, elektrība sasniedz katru tīkla vienību pa vairākiem ceļiem, tas ir, elektropārvades līnijas veido ķēdes (kontūrus). Elektropārvades līnijas lielā attālumā pārvada elektrību no spēkstacijas uz sadales tīklu un nodrošina integrāciju ar blakusesošiem enerģotīkiem.

Pārvades tīklos ir augsts (60–230 kV) vai ļoti augsts (330–1150 kV) spriegums. Eiropas Savienības dalībvalstīs augstākais elektropārvades tīkla spriegums ir 400 kV, Ziemeļamerikā – 765 kV, bet NVS valstīs – 1150 kV. Lietuvā elektropārvades tīkla spriegums ir 110 kV un 330 kV.

Elektrolīnijas apakšstacijās savieno augstāka un zemāka sprieguma sadalītais un saites transformatori vai autotransformatori. Apakšstaciju transformatori parasti pazemina spriegumu līdz sadales tīkla spriegumam, bet autotransformatori – līdz pārvades tīkla zemākajam spriegumam, tas nozīmē, ka autotransformatoru transformācijas koeficients nav liels. Autotransformatori apakšstacijās ir saslēgti paralēli. Transformatori, kas samazina spriegumu līdz sadales tīkla spriegumam, nav saslēgti paralēli. Tas samazina išslēguma strāvu, kā arī sadalnes aprīkojuma izmaksas.

Sadales tīkli var būt koplietošanas objekti, kas savā darbības teritorijā apkalpo daudzus patērētājus, vai arī lielo patērētāju tīkli, kas ar elektrību apgādā patērētājus tikai attiecīgajā uzņēmumā. Pa sadales tīklu pārvadītā elektrība nonāk pie patērētāja tikai pa vienu

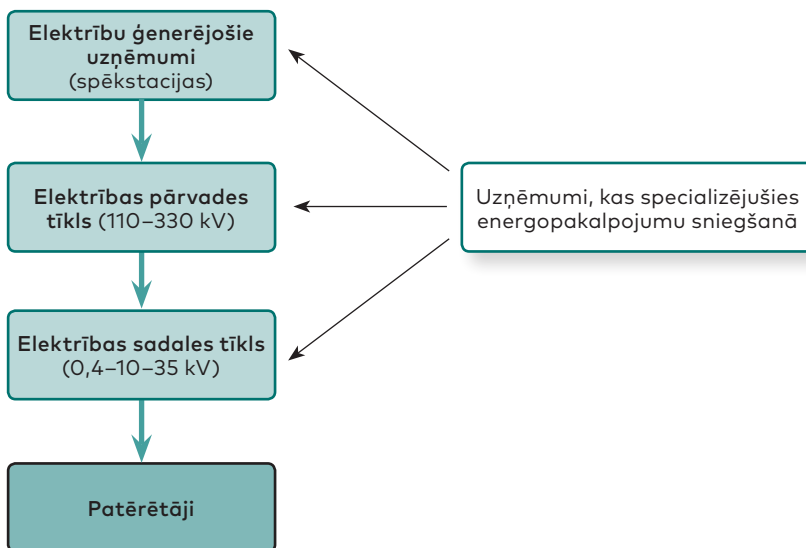


ceļu. Tāpēc kļūdas gadījumā elektrības padeve tiek pārtraukta, līdz kļūda tiek novērsta. Ja kļūda tiek novērsta automātiski, tas notiek momentāni, bet, ja kļūda jānovērš manuāli, tas var prasīt pāris minūtes vai vairāk laika.

Ir vidsprieguma (no 6 kV līdz 110 kV) sadales tīkli (Lietuvā 6–35 kV) un zemsprieguma sadales tīkli – no 230 V līdz 660 V (Lietuvā 400 V). Lieli elektrouztvērēji (ja tie ir augstsprieguma – 6 kV un 10 kV) vidsprieguma sadales tīklam ir pieslēgti tieši vai ar transformatoru. Zemspriegumam elektrouztvērēji ir pieslēgti tieši. Zemsprieguma elektrotīklam ir pieslēgti vairāki vienfāzes elektrouztvērēji, jo to nominālais spriegums ir  $\sqrt{3}$  reižu zemāks nekā elektrotīkla spriegums. Lietuvā zemsprieguma elektrotīkla fāzes spriegums ir 230 V. Vidsprieguma sadales tīklus ar zemsprieguma tīkliem savieno sadales transformatori.

Atsevišķs sadales tīkls neatstāj būtisku ietekmi uz elektrotīkla darbību, tomēr sadales tīkla darbības kvalitāte nosaka patērētājiem piegādātās elektrības kvalitāti un lielā mērā arī uzticamību. Kaut gan jāsaprot, ka arī atsevišķiem elektrības patērētājiem un to darbības režīmam ir liela ietekme uz sadales tīklu darbību. Šāda savstarpēja atkarība veicina ciešu sadarbību starp sadales tīkliem un elektrības patērētājiem, jo tikai savstarpēja izpratne var garantēt uzticamu un kvalitatīvu elektroapgādi.

Lietuvas enerģotīkla struktūra kopš 2002. gada līdz šim brīdim ir mainījusies vairākas reizes. Pašreizējā struktūra ir ilustrēta 1.3. attēlā. Tajā nošķirti elektrību ražojošie uzņēmumi, elektrības pārvades un sadales tīkli, kā arī uzņēmumi, kas specializējušies energopakalpojumu sniegšanā kā atsevišķas struktūrvienības.



1.3. att. Lietuvas enerģotīkla struktūra.

Kā redzams struktūras grafiskajā attēlojumā, elektrība no energopārvades tīkliem nonāk sadales tīklā, no kura tālāk tā nonāk pie patērētāja. Savu daļu cenai par katru savā tīklā pārvadīto un sadalīto kilovatstundu elektrības pieliek gan elektrības pārvades, gan sadales uzņēmumi. Elektrības gala cenu veido spēkstacijas noteiktā cena un elektrības pārvades un sadales maksa.

Uzņēmumi, kas patērē lielu daudzumu elektrības, var pieteikties brīva patērētāja statusam. Brīvi patērētāji drīkst izvēlēties elektrības piegādātāju noteikta daudzuma enerģijas piegādei par noteiktu cenu. Šādi patērētāji var iepirkt elektrību tieši no spēkstacijām vai elektrības biržas par līgumā atrunātu cenu. Turklāt elektrības sadales tīkla uzņēmumiem noteikti ir jāiepērk elektrība, kas ražota no alternatīviem energoresursiem.

## 2. ELEKTROIETAIŠU NOVĒRTĒŠANA

Elektroietaišu tehniskā stāvokļa novērtēšana ir svarīgs un visai sarežģīts uzdevums. Šī uzdevuma atrisinājums nosaka ierīču darbības efektivitāti un visa elektrotīkla uzticamu darbību. Elektroietaišu stāvoklis bieži vien ir atkarīgs no darbības apstākļiem un ilguma.

Vairuma energosistēmas ietaišu galvenie komponenti ir kopnes un izolācija, spēka transformatori un mērtransformatori ar magnētserdi, kā arī komutācijas aparāti ar kontaktu sistēmu un loka dzēšanas kamerām. Šo ietaišu izolācija sastāv no cietiem un šķidriem izolācijas komponentiem. Lielākā uzmanība tiek pievērsta tam, lai novērtētu to ierīču uzticamību, ar kurām tiek noteikta šo komponentu mijiedarbības kvalitatīvās īpašības sprieguma un strāvas iedarbības apstākļos, un tam tiek veltīta arī lielākā daļa pētījumu. Lai precīzāk novērtētu elektroierīču tehnisko stāvokli un to uzticamību, ir nepieciešams analizēt kvalitatīvo īpašību izmaiņas un šo izmaiņu modeli.

Apakšstaciju tehnisko stāvokli raksturo ietaišu mūža ilgums un avāriju biežums. Elektroierīču laicīga uzraudzība palīdz novērst bojājumus un avārijas, kā arī samazina to sekas. Visievainojamākās ir augstsprieguma ietaises – 330 kV ievadi, spēka transformatori un mērtransformatori. Tiem novecojot, uzticamība būtiski samazinās. Elektroietaišu tehnisko stāvokli var novērtēt, analizējot dažādus ar stāvokli saistītus parametrus, nosakot un izvērtējot to izmaiņas, kā arī izstrādājot sistēmas parametru variāciju prognozēšanai. Ja ir izveidota uzticama stāvokļa novērtēšanas sistēma, ierīci var atvienot, potenciālos defektus var identificēt, remontdarbi var notikt un testēšanas apmērs var tikt noteikts laikus.

Lai nodrošinātu darbības uzticamību, ir nepieciešama ierīču darbplūsmas izmaiņu vadība. Vairuma augstsprieguma apakšstaciju ietaišu vissvarīgākie parametri, kas ietekmē uzticamību, ir izolācija, kontakti un spaiļes. Ierīču izolācijai (iekšējai un ārējai) ir jābūt noturīgai pret ilgstošu maksimālu darba spriegumu, komutācijas pārspriegumu un atmosfēras pārspriegumu. Ierīces iekšējās izolācijas pretestības samazināšanos rada: daļējās izlādes intensitāte un līmenis, novecošanās siltuma iedarbības rezultātā, mitrums.

Galvenie faktori, kas ietekmē ierīces un nosaka to novecošanās ātrumu, ir pārspriegums un pārslodze. Pārspriegums tieši ietekmē izolāciju un palielina daļējas izlādes līmeni, defektu rašanos izolācijas slānī utt. Siltuma iedarbība uz izolācijas slāni saistās ar pārslodzi un īsslēgumu. Elektroietaišu stāvoklis tiek kontrolēts, regulāri novērtējot vairākus parametrus (dielektrisko zudumu leņķi  $\text{tg}\delta$ , pretestības vērtību pēc 60 sekundēm  $r_{60}$ , gāzes tilpumu, daļējas izlādes līmeni, pieaugumu utt.). Lai nodrošinātu nepārtrauktu dažādu parametru uzraudzību, tiek ieviestas uzraudzības sistēmas. Galvenā visu šo metožu un principu iezīme ir kontrolēt vairāku tādu faktoru radītās sekas, kas ietekmē ierīci un tās izolāciju (pārspriegums, pārslodze u. c.), un salīdzināt tos ar pieļaujamajiem standartlielumiem. Šādi faktori, kā pārspriegums, pārslodze un īsslēgums, ir nejausi izvēlēti, tāpēc ne vienmēr šo parametru regulāra uzraudzība ļauj identificēt radušos un attīstījušos defektus. Turklāt ierīču izolācijā šie faktori rada dažādas, bieži vien neatgriežamas pēdas, kas pie darba sprieguma vai atkārtota pārsprieguma gadījumā var novest pie bīstamiem defektiem un ierīces bojājumiem, ja šie faktori netiek pamanīti laikus. Izmantojot mūsdienu tehnoloģijas, ir iespējams kontrolēt ne tikai dažādu tādu faktoru sekas, kas ietekmē ierīci, bet arī to cēloņus.

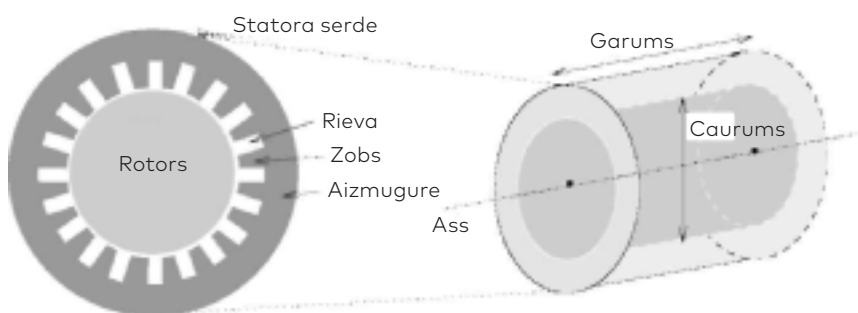
Lai gūtu uzticamu informāciju par ietaišu stāvokli, esošo regulāras kontroles sistēmu papildina īpašas metodes un tehnoloģija, kas tiek piemērota atbilstoši ierīces darbības nolūkam un specifikai. Ierīces papīra un eļļas izolācijas kalpošanas laiks ir atkarīgs no kvalitātes kontroles sistēmas un izmantotajām diagnostikas metodēm. Lai noteiktu izolācijas kvalitātes raksturlielnes, visbiežāk tiek piemērota kompleksā pētniecības metode. Tajā tiek analizēts izolācijas komponentu kopums (papīra slānis vai eļļa) un iezīmju un īpašību kopums.

Katram augstsprieguma ietaišu veidam tiek piemērotas tādas diagnostikas metodes, kas atbilst ietaises izolācijas īpašībām, konstrukcijai un kas nemazina resursus. Mūsdienās diagnostikas metodes parasti tiek piemērotas, lai pārbaudītu izolācijas, fizikālos un

ķīmiskos parametrus. Izolācijas atsevišķu komponentu (slāņu) īpašību analīzei parasti tiek izmantotas šādas diagnostikas pamatmetodes:

- eļļas caursites sprieguma noteikšana;
- eļļas paraugu dielektrisko zudumu noteikšana;
- izolācijas eļļas skābuma noteikšana;
- eļļas uzliesmošanas temperatūras noteikšana;
- eļļas tīrības klases noteikšana;
- mitruma noteikšana eļļas un papīra paraugos (Karla Fišera metode);
- polimerizācijas pakāpes noteikšana papīra paraugos;
- eļļā izšķīdušo gāzveida, šķidro un cieto ķīmisko savienojumu noteikšana (hromatogrāfiskā analīze).

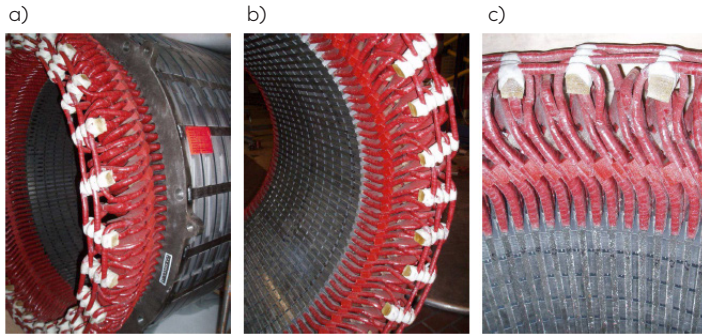
Augstsprieguma elektrodzinēja stators ir stacionāra ierīce, ko veido magnētserde un izolācijas tinums. Strāvas plūsma statora tinumos rada rotējošu magnētisko lauku. Strāva, kas plūst caur vadītāju un magnētisko lauku, rada elektromagnētisko momentu. Magnētserde sastāv no elektrotehniskā tērauda sloksnēm (līdz 1 mm biezas sloksnes). Magnētserdes struktūra ir parādīta 2.1. attēlā.



2.1. att. Magnētserdes uzbūve.

Elektrotehniskais tērauds bieži vien tiek dēvēts arī par mašīnu metālu. Tā sastāvā ir neliels daudzums silīcija, alumīnija, un tas var saturēt arī vara sakausējumus. Atsevišķu elementu, jo īpaši oglekļa, daudzumam tēraudā ir jābūt pēc iespējas mazākam, lai nodrošinātu labas magnētiskās īpašības. Lakas kārtiņai, kas sedz loksnes, jābūt pēc iespējas plānākai, lai novērstu lielas virpuļstrāvas, kas rada būtiskus enerģijas zaudējumus. Virpuļstrāvas rodas uz magnētiskā spēka līnijām perpendikulārās plaknēs. Līdz ar to lokšņu plaknes, kas veido magnēt vadu, atrodas paralēli magnētiskā spēka līnijām. Tas palielina magnēt vada pretestību, praktiski nemainot tā magnētisko pretestību.

Katra tērauda loksne ir piegriezta tā, lai tās centrā veidotos caurums, kurā tiek ievietots rotors. Ap caurumu ir izgrieztas rievas, atstājot starp tām zobus magnētiskās plūsmas un rotora mijiedarbības virzienā. Aiz zobiem un rievām rādiusa virzienā ir novietots monolīts gredzens, kas uztur magnētisko plūsmu. Starp rievām veidojas atšķirīgi magnētiskie poli. Visā ass garumā vienādā atstatumā ir izvietotas radiālas spraugas, kas ļauj cirkulēt gaisam, citām gāzēm vai šķidrumam, tādējādi veidojot dzesēšanas kanālus. Rievās ievietotie tinumi iesniedzas aiz magnētserdes līdz tinuma aizmugurei, kas stiepjas no cauruma līdz nākamajam caurumam vai spailei pieskares virzienā.



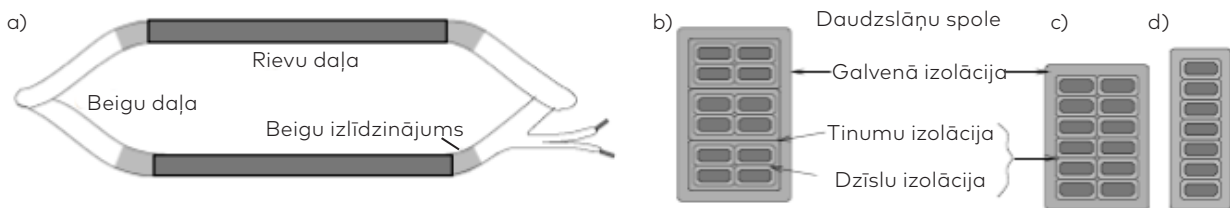
**2.2. att.** Divu megavatu dzinēja magnētserde bez rotora. a, b – magnētserdes sānskats; c – aizmugures stiprinājumi.

2.2. attēlā ir redzams lieljaudas elektrodzinējs (skats no aizmugures) ar izņemtu rotoru, tāpēc ir redzams statora magnētserdes iekšskats. Cauruma diametrs ir aptuveni 1 m. Attēlā redzamas dažas magnētserdes ārējās detaļas, piemēram, b attēlā ir redzama statora iekšējā virsma ar aksiālām statora rievām un dzesēšanas kanāliem, pa kuriem gaiss plūst radiāli. Ir redzami tikai tinuma izvirzītie gali, jo rievās sedz ķīļi, kas tinumus notur rievās. Tinuma galu turētāji ir redzami c attēlā.

Tinumus dažādās elektromašīnās ir ļoti atšķirīgi. Visbiežāk ir sastopamas trīsfāžu mašīnas. Parasti katras fāzes tinuma viens gals ir savienots ar zvaigznes centrālo punktu (neitrāli). Nelielās mašīnās katras fāzes tinumu var veidot vienkāršs vara vadītājs, kas stiepjas no neitrāles līdz augstsprieguma izvadam. Lielās mašīnās fāzes tinumu var veidot vairāki šādi vadītāji, kas atrodas dažādās pozīcijās ap statoru un ir saslēgti paralēli un savienoti cilindrisku kopni, kura atrodas ap tinuma galiem. Katru vadītāju var veidot vairākas paralēlas vara vai alumīnija joslas.

Zemsprieguma elektriskajās mašīnās ar lineāro spriegumu zem 1 kV dzīslas rievās ir ieklātas nevienmērīgi – vads ar plānu izolācijas kārtu ir iespiests rievā neatkarīgi no daudzu blakusesošu dzīslu kārtības. Šādas mašīnas šajā metodiskajā materiālā nav aplūkotas.

Augstsprieguma statoru tinumiem ir noteiktas formas konstrukcija, un atkarībā no tās dzīslas tiek kārtīgi ietītas un iestrādātas tā, lai ietilptu rievā. Apaļi vai taisnstūrveida profila vadītāji tiek pārklāti ar plānu izolācijas kārtiņu un pēc tam sakopoti saišķī stingri noteiktā kārtībā; saišķis aptver salīdzinoši biezs ārējās izolācijas slānis. Vadītājus no iezemētās statora magnētserdes un vienu no otra šķir vispārējā un dzīslas izolācija. 2.3. attēlā redzamajā statora tinumā ir izmantota tā saucamā daudzslāņu spole.



**2.3. att.** Daudzslāņu spole statora tinumā. Šķērsgrīzumu piemēri ir parādīti zem tinuma un stieņa. Rievu daļa stiepjas visā magnētserdes garumā (2.1. att.), bet gals ir izvirzīts. a – daudzslāņu spoles virsskats; b – daudzslāņu spole ar trim saišķiem, kuru katru veido četras dzīslas ar atsevišķu dzīslas un vijuma izolāciju; c, d – daudzslāņu spole ar saišķiem, kas nav savienoti ar vadītājiem.

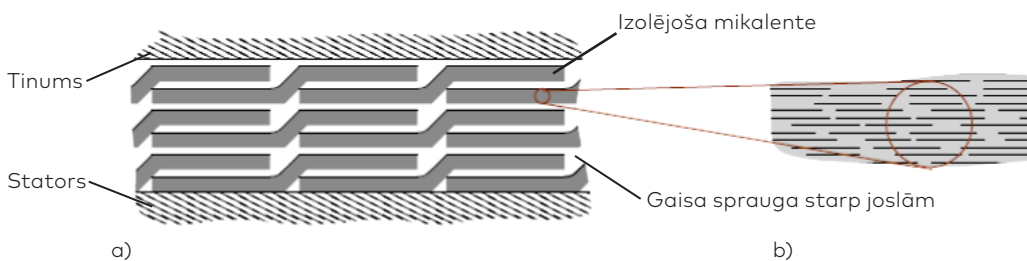
Vidējas jaudas mašīnām (parasti līdz desmit megavatiem) ir spoles tinumi. Tie ir piemēroti vairumam dzinēju un arī nelielai daļai generatoru. Vadītāju sedz izolācijas slānis, kas ir noturīgs pret vairākus simtus voltu lielu spriegumu, bet pats vadītājs pie statora ir piestiprināts ik pēc pāris dzīslām. Vadītājs ir satīts vairākās dzīslās, lai veidotos spole ar diviem gariem posmiem, ko var ievietot gar divām rievām, kas atrodas dažādās statora

magnētserdes pozīcijās. Abi vadītāja gali vienā tinuma galā ir izvirzīti un pievienoti citām spolēm vai izvadiem. Ja nepieciešams liels vadītāja šķērsriezuma laukums, var izmantot vairākas paralēlas dzīslas. Tas palielina spoles elastību un samazina virpuļstrāvu zudumus. Dzīslas vienu no otras šķēr lakas pārklājums vai stiklšķiedras slānis, kas garantē noturību pret pāris voltus stipru spriegumu, kas rodas starp paralēliem saišķiem. Modernās spolēs parasti ir viena veida izolācija, ar kuru tiek izolēts gan vara elements, gan paralēlie saišķi. Galvenā izolācija ir aptīta ap viegli izolētiem vadītājiem, lai izturētu kopējo spriegumu starp vadītājiem un iezemēto statora magnētserdes metālu.

2.3. attēlā ir trīs piemēri spoles šķērsgriezumam: pirmajā (b) ir redzami trīs saišķi, un katrā no tiem ir četras dzīslas ar atsevišķu dzīslu un vijuma izolāciju. Pārējie (c, d) ir dubultīgi un ietver vai nu dzīslas un vijuma izolācijas kombināciju, vai arī vadītājus, kas nav sakopoti saišķos. Tipiskā konstrukcijā galvenā izolācija būtu pāris milimetrus bieza, bet dzīslas izolācija – mazāk nekā vienu milimetru bieza.

Bojāta izolācija starp dzīslām var radīt pārkaršanu, kā rezultātā starp dzīslām rodas īsslēgums. Bojāta galvenā izolācija ir visbiežākais atteices iemesls. To var radīt ilgstoša novecošanās, mehānisks bojājums vai īsviļņu lēcieni. Šāds defekts rada augstfrekvences strāvas, kas var paātrināt vadītāja kušanu un novest pie galvenās izolācijas bojājuma. Šajā materiālā ir aplūkotas vairākas metodes, kā pētīt dažādu faktoru ietekmi uz magnētserdes tinumu izolāciju, proti, galveno izolāciju. Materiālā tieši netiek aplūkotas dzīslas izolācijas problēmas.

Visbiežāk izolāciju augstsprieguma statorā nodrošina ar mikalentēm (2.4. att.). Vizlas fragmenti lentē (2.4. b att.) kalpo kā barjera, lai lādiņš nevarētu pārvietoties apkārtējā vidē. Izolācijas struktūra ir parādīta 2.4. a attēlā, kur redzams, ka pārklājušos slāņu joslas veido blīvu izolāciju. Izolācija uz tinuma tiek saspiesta ar īpašu presi, tāpēc gaisa spraugu veidošanās starp joslām ir praktiski neiespējama. Lentas standartplatums ir aptuveni 25 mm. Pateicoties stingrā slāņa pildvielai, materiālā rodas barjeras. Parasti tiek pētīta elektriskā lauka spēku perpendikulārā iedarbība uz lentes virsmu vai pildvielu.



**2.4. att.** Izolācija starp tinumu un statoru šķērsgriezumā (bez precīza mēroga). a – daļēji pārklājušies mikalentes slāņi; b – nelieli vizlas gabaliņi, ko ietver piesūcināta vide.

Ar atbilstošu aprīkojumu var testēt kompozītas konstrukcijas, kas satur vizlu, epoksīdsveķus un pildvielas. Šāda izolācija parasti tiek izmantota ģeneratoros. Šie ir termiski apstrādāti un neapstrādāti epoksīdsveķi ar plānas kārtiņas joslām, kas pildītas ar stiklšķiedru un poliesteru. Epoksīdsveķu slāņa un stiklšķiedras pildījuma slāņa īpatnējā vadītspēja ir ļoti atšķirīga.

Elektroiekārtu absorbcijas koeficienta ( $K$ ) noteikšanas pamatā ir izolācijas pretestības mērījumi dažādos laika intervālos (60 s, 190 s un 600 s) [17]. Pētījumos noteiktā  $K$  vidējā vērtība ir 4, bet bitumena vērtība bija desmit reizi lielāka nekā poliestera vai epoksīdsveķu vērtība.

Pamatojoties uz minēto pētījumu rezultātiem, var apgalvot, ka mūsdienīgai statora izolācijai labā stāvoklī piemīt konstanta dielektriskā permeabilitāte un zema īpatnējā vadītspēja. Vizlas dielektriskā permeabilitāte ir 7, un tipiskie dielektriskie zudumi ir aptuveni 0,5 %, bet bitumena un vizlas kombinācijai šis rādītājs svārstās no 3 % līdz 5 % [25].

### 3. ELEKTROIETAIŠU TESTĒŠANU REGULĒJOŠIE TIESĪBU AKTI

Neatslīdzot darba spriegumu (nemainot ekspluatācijas īpašības) regulāro pārbaūžu laikā, spēka transformators var kontrolēt vairākas raksturlieknes; tās analizējot, nosaka iekšējās izolācijas un citu mezglu tehnisko stāvokli. Vērtējot tehnisko stāvokli, vispirms būtu jāanalizē avāriju biežums un darbības režīmi, uz ko visbiežāk norāda izolācijas raksturlieknes. Spēka transformatoru izolāciju veido cietie un šķidrie komponenti. Tā ietver izolējošu papīra slāni un minerāleļļu, kas veic gan izolācijas, gan dzesēšanas funkcijas. Eļļas izolējošās īpašības raksturo tajā izšķīdušās gāzes daudzums, ūdens saturs, caursietes spriegums, mehāniskie piemaisījumi un dielektrisko zudumu leņķis  $tg\delta$ . Piemērojot regulāru stāvokļa novērtēšanas sistēmu, šos regulāri kontrolējamus lielumus var novērtēt atbilstoši attiecībai starp standarta un sākotnējo vērtību. Lielumi, kas raksturo spēka transformatora stāvokli un normālu darbības stāvokli, kā arī pārbaūžu biežums, ir atspoguļoti 3.1. tabulā [19].

3.1. tabula

#### 110–330 kV spēka transformatora ekspluatācijas standartlielumi pie 20 °C un pārbaūžu biežums

Spēka transformatora raksturlielumi	Ekspluatācijas ierobežojumi (110/330 kV)	Pārbaūžu biežums vai iemesli raksturlielumu pārbaūdei
Eļļā izšķīdušās gāzes hromatogrāfiskā analīze	Gāzes daudzums 4 % vai > 10 % mēnesī	Profilaktiski reizi 6 mēnešos
Ūdens daudzums eļļā	25 g/t (H), 30 g/t (NH)	330 kV – reizi 2 gados, 110 kV – reizi 4 gados un kompleksu pārbaūžu ietvaros
Eļļas dielektriķa elektriskā izturība $U_{pr}$	Vismaz 35/45 kV	330 kV – reizi 2 gados, 110 kV – reizi 4 gados un kompleksu pārbaūžu ietvaros
Eļļas dielektrisko zudumu leņķis $tg\delta$	Ne vairāk kā 10/7 %	330 kV – reizi 2 gados, 110 kV – reizi 4 gados un kompleksu pārbaūžu ietvaros
Mehāniskie piemaisījumi eļļā	Tīrības klase < 13/12	330 kV – reizi 2 gados, 110 kV – reizi 4 gados un kompleksu pārbaūžu ietvaros
Skābums $mg_{KOH}/g$	Ne vairāk kā 0,25	330 kV – reizi 2 gados, 110 kV – reizi 4 gados un kompleksu pārbaūžu ietvaros
Eļļas uzliesmošanas temperatūra	Vismaz +125 °C	330 kV – reizi 2 gados, 110 kV – reizi 4 gados un kompleksu pārbaūžu ietvaros
Furāna savienojumu daudzums eļļā	0,00015 %	Reizi 12 gados, pēc 24 gadiem – reizi 4 gados vai kad izolācijas eļļā ir paaugstināts izšķīdušās CO un CO <sub>2</sub> daudzums
Antioksidanta AGIDOL-1 daudzums eļļā	> 0,1 %	330 kV – reizi 2 gados, 110 kV – reizi 4 gados un kompleksu pārbaūžu ietvaros
Izolācijas aktīvā pretestība	500 MΩ vai > 50 % no sākotnējās vērtības	Ja eļļas testa rezultāti vai šīs sadaļas 1. punktā minētās analīzes rezultāti nav apmierinoši
Dielektrisko zudumu leņķis $tg\delta$ (90 °C)	< 1 %	Ja eļļas testa rezultāti vai šīs sadaļas 1. punktā minētās analīzes rezultāti nav apmierinoši
Cietās izolācijas polimerizācijas pakāpe	250 vienību	Kapitālremonta laikā
Pārslogota transformatora termogrāfiska pārbaūde	Līdzīgi eg	Reizi gadā vai ja šīs sadaļas 1. punktā minētās analīzes rezultāti nav apmierinoši
Pārslogota transformatora daļēja izlāde	300–10 000 pC	Ja šīs sadaļas 1. punktā minētās analīzes rezultāti nav apmierinoši
Tukšgaitas zudumi	Ne vairāk kā 30 % no sākotnējās vērtības	Kompleksu pārbaūžu ietvaros
Īsslēguma aktīvā pretestība $Z_k$	Pieaugums ne vairāk kā 3 % no sākotnējās vērtības	Pēc tam, kad īsslēguma strāva pārsniedz 70 % no aprēķinātās vērtības, kā arī kompleksu pārbaūžu ietvaros

Lai noteiktu mērtransformatoru izolācijas aktīvo pretestību, tiek izmantoti 2500 V megaometri. Visu veidu eļļpildītu strāvmaiņu galvenās izolācijas kapacitāte un dielektrisko zudumu leņķis tgδ tiek mērīts pie 10 kV sprieguma.

Strāvmaiņu stāvokli raksturojošo lielumu un darbības rādītāju, kā arī pārbauzu biežuma kopsavilkums ir parādīts 3.2. tabulā.

3.2. tabula

## Strāvmaiņu pārbauzu un diagnostikas apjoms un biežums

Parametrs	Pārbauzu biežums*				Komentāri
	P	T <sub>2</sub>	T <sub>4</sub>	R <sub>8</sub>	
1. Izolācijas aktīvā pretestība					
1.1. 110 kV strāvmaiņi	+		+	+	Jāmēra papildus, ja eļļas pārbaudes rezultāti nav apmierinoši
1.2. 330 kV strāvmaiņi	+	+		+	Ar nekontrolētu īpašu aprīkojumu, neatvienojot spriegumu
2. Izolācijas dielektrisko zudumu leņķis tgδ un kapacitāte					
2.1. 110 kV strāvmaiņi	+		+	+	Jāmēra papildus, ja eļļas pārbaudes rezultāti nav apmierinoši
2.2. 330 kV strāvmaiņi	+	+		+	Ar nekontrolētu īpašu aprīkojumu, neatvienojot spriegumu
3. Izolācijas eļļa					
3.1. 110 kV strāvmaiņi	+		+	+	
3.2. 330 kV strāvmaiņi	+	+		+	Hermētisku strāvmaiņu eļļa tiek pārbaudīta atbilstoši ražotāja rekomendācijām
4. Termovizuāla pārbaude	Reizi gadā				
5. Izolācijas pārbaude, neatslēdzot spriegumu					330 kV transformatoriem ieteicams reizi 6 mēnešos
6. Elegāzes kvalitātes rādītāji					Atbilstoši F-gāzu regulai un LST EN 60480
6.1. Gāzes blīvums (spiediens)					Noteikt pārbauzu ietvaros
6.2. Ūdens saturs (rasas punkts)	+		+	+	
6.3. Koncentrācija (sastāvs)	+			+	
6.4. Noplūžu pārbaude	+		+	+	
6.5. Gāzes spiediena mērierīces pārbaude	+		+	+	

\*P – pārbaudes un mērījumi pirms ierīces iedarbināšanas; T<sub>2</sub> – ierīces apkope reizi 2 gados; T<sub>4</sub> – ierīces apkope reizi 4 gados; R<sub>8</sub> – ierīces remonts reizi 8 gados.

Sprieguma mērtransformatoru stāvokli raksturojošo lielumu un darbības rādītāju, kā arī pārbauzu biežuma kopsavilkums ir parādīts 3.3. tabulā.

3.3. tabula

## Sprieguma mērtransformatoru pārbauzu un diagnostikas apjoms un biežums

Parametrs	Pārbauzu biežums*	
	P	T <sub>4</sub>
1. Elektromagnētiskie transformatori		
1.1. Izolācijas aktīvā pretestība	+	+
1.2. Izolācijas eļļa	+	+
2. Kapacitatīvais spriegummainis		
2.1. Elektromagnētiskās ierīces izolācijas aktīvā pretestība	+	+
2.2. Elektromagnētiskās ierīces izolācijas eļļas pārbaude	+	+
3. Termovizuāla pārbaude	Reizi gadā	

\*P – pārbaudes un mērījumi pirms ierīces iedarbināšanas; T<sub>4</sub> – ierīces apkope reizi 4 gados.

Jaudas slēdža kustīgo un vadošo daļu, kas izgatavotas no organiskiem materiāliem, izolācijas aktīvās pretestības pārbaude tiek veikta, iekārtai darbojoties un mērot pretestību starp strāvu vadošajiem komponentiem un jaudas slēdža zemētajām daļām ar 2500 V megaommetru. Galvenās kontaktu ķēdes stāvokļa pārbaude un loka dzēšana jaudas slēdzī notiek atbilstoši ražotāja tehniskajā dokumentācijā norādītajiem standartiem un lielumiem.

Laika raksturlīkņu un kontaktu gājiena ātruma pārbaude uzrāda šādu parametru vērtības:

- īpatnējo atslēgšanas laiku – laiks no vadības komandas līdz elektriskā loka kontaktu atslēgšanai dzēšanas kamerā pie vadības elektromagnēta nominālā barošanas sprieguma;
- īpatnējo ieslēgšanas laiku – laiks no vadības komandas līdz elektriskā loka kontaktu saslēgšanai dzēšanas kamerā pie vadības elektromagnēta nominālā barošanas sprieguma (jaudas slēdžiem ar pneimatisku aktuatoru pie nominālā spiediena);
- kontaktu savienošanas ilgumu ieslēgšanas/izslēgšanas (CO) laikā – tas tiek mērīts elegāzes jaudas slēdžiem. Šīs pārbaudes nolūks ir noteikt, cik ilgi saslēgtas ķēdes isslēguma strāva iedarbojas uz jaudas slēdža kontaktiem. Pārbaudi veic pie vadības elektromagnēta nominālā barošanas sprieguma;
- strāvas ķēdes kontaktu nostrādes un atslēgšanas laiku – strāvas ķēdes kontaktu gājiena ātrums tiek mērīts atbilstoši testa plāksnītē norādītajai procedūrai. Pārbaudi veic pie vadības elektromagnēta nominālā barošanas sprieguma;
- aktuatora palīgkontakta (NO; NC) nostrādes laiku – mērījumi tiek veikti atbilstoši jaudas slēdža ražotāja norādēm. Ja jaudas slēdža tehniskajā aprakstā nav specifisku norāžu, palīgkontakta nostrādes laiks tiek mērīts ieslēgšanas/izslēgšanas laikā un salīdzināts ar tām vērtībām, kas iegūtas iepriekšējās jaudas slēdža pārbaudēs. Pārbaudi veic pie vadības elektromagnēta nominālā barošanas sprieguma.
- atspere spriegošana laiku. Pārbaude tiek veikta pie dzinēja nominālā barošanas sprieguma.

Jaudas slēdža polārās pretestības līdzstrāvas mērījumi tiek veikti pie vismaz 50 A lielas līdzstrāvas (LST EN 60694, 6.4. paragrāfa prasības). Mērījumi tiek veikti atbilstoši jaudas slēdža testa plāksnītē norādītajai procedūrai.

Polu kontaktu sistēmas nostrādes un atslēgšanas sinhroniskums tiek pārbaudīts starp atsevišķiem poliēm un starp atsevišķām polu kamerām. Atslēgšana tiek pārbaudīta pie nominālā barošanas sprieguma (3.4. tab.). Ja ražotājs nav norādījis polu kontaktu sistēmas nostrādes un atslēgšanas standartvērtības, atbilstoši LST EN tās nedrīkst pārsniegt 10 ms.



3.4. tabula

## Polu kontaktu sistēmas pārbažu un diagnostikas apjoms un biežums

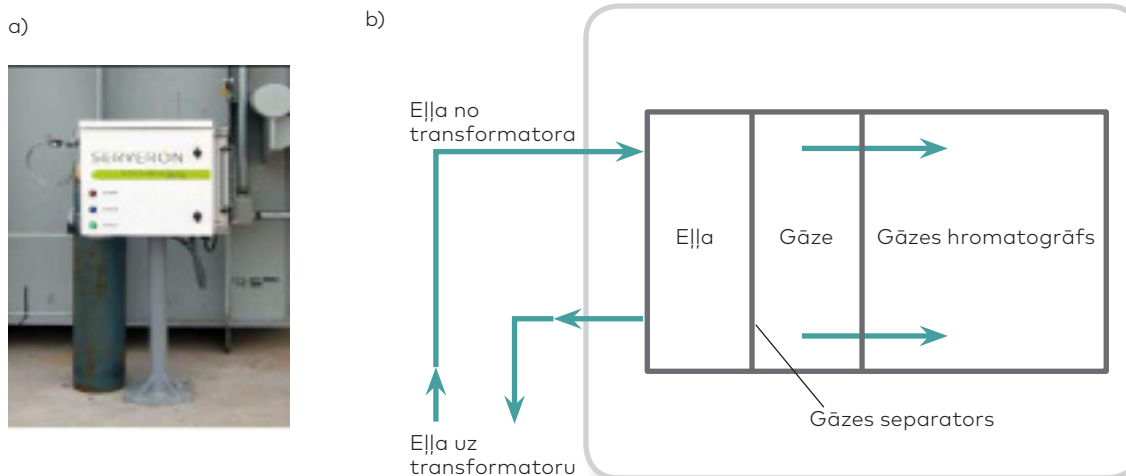
Parametrs	Pārbažu biežums*				Piezīmes
	P	T <sub>4</sub>	T <sub>12</sub>	R	
1. Izolācijas aktīvā pretestība					
1.1. No organiskiem materiāliem izgatavotas kustīgās un vadošās daļas				+	
2. Elegāzes kvalitātes rādītāji					
2.1. Necaurļaidība	+			+	Jāpārbauda pēc iepildīšanas, atkārtotas iepildīšanas, manometra maiņas vai spiediena krituma konstatēšanas
2.2. Gāzes blīvums (spiediens)	+	+	+	+	Jānovērtē arī pārbažu ietvaros
2.3. Ūdens saturs (rasas punkts)	+		+	+	Sākotnējā (P) testa laikā gāzes mitrums tiek mērīts, ja tas ir vakuuma jaudas slēdzis
2.4. Gāzes sastāvs (elegāzes koncentrācija)			+	+	
2.5. Gāzes sastāvs: piesārņotājvielu veids un daudzums			+	+	
3. Kapacitatīvā sprieguma dalītāja kontrole				+	Dielektrisko zudumu leņķis $\tan \delta$ un sprieguma dalītāju kapacitāte tiek mērīta, ja termovizuālās vai vizuālās pārbaudes laikā tiek konstatētas novirzes no normas

\*P – pārbaudes un mērījumi pirms ierīces iedarbināšanas; T<sub>4</sub> – ierīces apkope reizi 4 gados;  
T<sub>12</sub> – ierīces apkope reizi 12 mēnešos; R – ierīces remonts.

## 4. ELEKTROIETAĪŠU DARBĪBAS KONTROLES UN DIAGNOSTIKAS METODES

### 4.1. Transformatoru diagnostikas metodes

Transformatoru pastāvīgās uzraudzības sistēma (TPU) *Serveron* (4.1. att.) ir izstrādāta datu tiešai vākšanai un uzraudzībai. Šī sistēma tiek uzstādīta tieši uz transformatora. Sistēmas uzdevums ir noteikt gāzes koncentrāciju izolācijas eļļā, jo tas ļauj novērtēt transformatora stāvokli, un nosūtīt iegūtos datus uzraudzības stacijai.



4.1. att. Transformatoru pastāvīgās uzraudzības gāzu izplūdes un analīzes sistēma *Serveron* (a); gāzu izplūdes un analīzes process transformatoru pastāvīgās uzraudzības ierīcē (b) [23].

Transformatoru pastāvīgās uzraudzības sistēmu galvenā daļa ir gāzu hromatogrāfs, kas nosaka arī gāzu koncentrāciju. Šai sistēmai ir divas iespējamās opcijas. Pirmais *TM8* tipa hromatogrāfs analizē IEEE standartā norādītās gāzes, proti, ūdeņradi ( $H_2$ ), skābekli ( $O_2$ ), oglekļa dioksīdu ( $CO_2$ ), oglekļa monoksīdu ( $CO$ ), metānu ( $CH_4$ ), etilēnu ( $C_2H_4$ ), etānu ( $C_2H_6$ ) un acetilēnu ( $C_2H_2$ ). *TM3* hromatogrāfs analizē gāzu koncentrāciju atbilstoši *Duval* trijstūrim ( $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_2$ ).

Eļļa no transformatora tieši ieplūst gāzu izplūdes sistēmā un pēc tam nonāk atpakaļ transformatorā. Emitētā gāze hromatogrāfā nonāk ar hēliju. Gāzu hromatogrāfijas dati tiek uzglabāti ierīces atmiņā un nosūtīti tieši vadības panelim. Saņemtos datus var aplūkot un analizēt monitorā. Lietotājs atjaunina datus pēc vajadzības. Gāzu analīze aizņem aptuveni 40 minūtes. Transformatora eļļas tvērtne papildus var uzstādīt sensoru, kas ļauj noteikt eļļas mitruma līmeni un temperatūru.

Lai nodrošinātu datu nosūtīšanu, transformatoru pastāvīgās uzraudzības sistēmu *Serveron* var pieslēgt dažādām informācijas nosūtīšanas sistēmām. Galvenās no tām:

- iekšējais modems – dati tiek nosūtīti pa telefona līniju;
- ārējais modems – dati tiek nosūtīti pa bezvadu savienojumu.

Lai noteiktu dielektrisko zudumu leņķi tgd un spēka transformatora tinuma izolācijas kapacitāti, ir jānodrošina mērķēdes aizsardzība pret traucējumiem, kas kropļo testa rezultātu vērtības:

- mērierīce ir jānovieto pēc iespējas tuvāk testa priekšmetam;
- vadiem, ar kuriem mērķēde ir savienota ar testa priekšmetu, jābūt ekranētiem.

Ražotājam ir jāveic arī kabeļu un aprīkojuma testēšana atbilstoši standartam IEC 60840. Kopā ar kabeļiem un to aprīkojumu ir jāiesniedz arī attiecīgo parametru atbilstības deklarācija, sertifikāts un dokumenti. Pirms kabeļlīnija tiek atzīta par piemērotu izmantošanai, ir jāveic trases un aprīkojuma pārbaude. Šāda pārbaude ietver šādus testus un mērījumus:

- kabeļu izolācijas testu;

- kabeļu apvalka testu;
- vadītspējas aktīvās pretestības noteikšanu;
- fāzes kapacitātes noteikšanu;
- gala savienojumu un metāla savienojuma starp gala savienojumiem zemējuma pretestības noteikšanu un zemēto ietaišu zemējuma pretestības noteikšanu;
- fāžu secības pārbaudi;
- strāvas sadalījuma noteikšanu kabeļos;
- eļļas un citu izolācijas šķidrumu īpašību noteikšanu;
- kabeļu aizsardzību pret koroziju.

Pirms testēšanas ir jāpārbauda visi pieejamie kabeļlīnijas elementi, kabeļietais un trases. Ja tiek konstatēti defekti vai kļūdas, pirms testēšanas tās ir jānovērš. Testi un mērījumi tiek protokolēti.

Kabeļi var testēt pie nominālā sprieguma 50 Hz. Testa spriegums  $(1,00-1,73)U_0$ . Testa spriegums un laiks tiek noteikts atbilstoši ražotāja norādēm. Tiek uzskatīts, ka kabeļlīnija ir izturējusi testu, ja tā laikā nav notikusi izolācijas kļūda vai gala savienojumu pārklāšanās. Izolācijas kļūdas gadījumā ir jāpārbauda bojātā vieta un jānosaka kļūdas cēlonis.

Pārsprieguma ierobežotāji ar  $U_c$  zem pārbaudes sprieguma ir jāatvieno. Ziņas par veiktajiem testiem un mērījumiem ir jāsaģlabā kabeļlīnijas pasē sadaļā "Darbības dati".

Kabeļi, tranšejas, plastmasas apvalki tiek pārbaudīti 1 minūti pie kompensētājsprieguma 10 kV. Tiek uzskatīts, ka kabeļa apvalks ir izturējis testu, ja tā laikā nav notikusi kļūda. Apvalka kļūdas gadījumā ir jāpārbauda bojātā vieta un jānosaka kļūdas cēlonis.

Ir jānosaka kabeļu diegu pretestība. Vara diega (šķērsriezums  $1 \text{ mm}^2$ , garums 1 m) pretestība pie  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  nedrīkst pārsniegt  $0,0179 \text{ } \Omega$ . Izmērītā pretestība no norādītās drīkst atšķirties par ne vairāk kā 5 %.

Ir jānosaka kabeļa kapacitāte. Norādītā kapacitāte (garums 1 m) no kabeļa ražotāja dokumentos norādītās vērtības drīkst atšķirties par ne vairāk kā 5 %.

Ir jānosaka gala savienojumu un metāla savienojumu starp gala savienojumiem zemējuma pretestība un transformatoru apakšstacijas zemējuma pretestība. Zemējuma pretestība nedrīkst pārsniegt  $0,5 \text{ } \Omega$ , bet metāla savienojuma pretestība nedrīkst pārsniegt  $0,02 \text{ } \Omega$ .

Kabeļlīnijas fāžu secību nosaka pirms darba un tā laikā pēc remonta vai savienojumu nomaiņas laikā, vai pēc kabeļa diegu atvienošanas. Uzstādīšana tiek veikta ar spriegummaini.

Strāvas sadalījums kabeļlīniju diegos un ekrānos tiek noteikts ar strāvas mērīšanas knaiblēm. Strāvas sadalījums fāzēs un ekrānos nedrīkst atšķirties vairāk par 10 %.

Pirms darba ar kabeļlīniju un darba laikā ir jāpārbauda to aizsardzība pret koroziju:

- kabeļiem ar metāla apvalku, kas ieguldīti vidējas vai zemas korozijas aktivitātes gruntī (īpatnējā pretestība lielāka par  $20 \text{ } \Omega/\text{m}$ ), ja noplūdes strāvas vidējais blīvums ir lielāks par  $0,15 \text{ mA}/\text{dm}^2$ ;
- kabeļiem ar metāla apvalku, kas ieguldīti augstas korozijas aktivitātes gruntī (īpatnējā pretestība mazāka par  $20 \text{ } \Omega/\text{m}$ ) – pie jebkāda noplūdes strāvas vidējā blīvuma;
- kabeļiem ar neaizsargātu apvalku, ar sagrautu bruņu un aizsargapvalku;
- augstsprieguma kabeļu tērauda caurulēm neatkarīgi no grunts aktivitātes un izolācijas pārklājuma veidiem.

Testēšanas laikā strāvas aizsardzības parametri un kabeļu apvalki (katodaizsardzības strāva un spriegums, notekstrāva) tiek mērīti atbilstoši pazemes energoiekārtu elektroķīmiskās korozijas aizsardzības norādījumiem.

Tiek mērīta kabeļa temperatūra un uzraudzīts augstspiediena kabeļu cauruļu pretkorozijas pārklājums, papildinājumi un gala savienojumu automātiskās sildierīces tiek pārbaudītas, ievērojot ražotāja norādījumus.

Visu eļļpildīto 110 kV kabeļlīniju elementu, eļļas vai citu izolācijas šķidrumu raksturliķnes ir noteiktas atbilstoši 110 kV kabeļlīniju ekspluatācijas norādījumiem.

Eļļa tiek pārbaudīta pirms ekspluatācijas, pēc viena un trim ekspluatācijas gadiem, bet pēc tam – reizi sešos gados. Ja MN-4 eļļas caursites un gāzu atdalīšanas rādītāji atbilst normām un dielektrisko zudumu leņķa tgδ vērtība pārsniedz testēšanas normās norādīto,

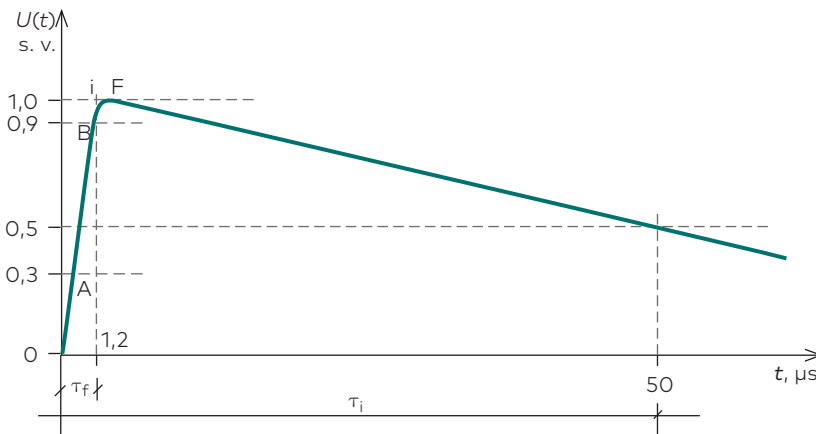
eļļas paraugs ir jāglabā 100 °C apstākļos vēl 2 stundas un regulāri jāmēra dielektrisko zudumu leņķis  $\tan\delta$ . Ja  $\tan\delta$  vērtība samazinās, eļļas paraugs ir jāglabā 100 °C apstākļos, līdz dielektrisko zudumu leņķa  $\tan\delta$  vērtība stabilizējas. Šī vērtība tiek pieņemta par pareizu.

Nešķīstošo gāzu noteikšana notiek eļļpildītās 110–330 kV kabeļlīnijās. Nešķīstošo gāzu saturs nedrīkst pārsniegt 0,1 %.

## 4.2. Izolācijas pārbaude ar impulsspriegumu

Elektroietaišu, mērtransformatoru un spēka transformatoru izolācija ir veidota tā, lai izturētu pārspriegumus. Izolāciju var ietekmēt gan atmosfēras, gan komutācijas pārspriegums. Spēka transformatora tinuma dzīslu izolācija tiek testēta ar standartimpulsiem 1,2/50 (pilns periods) un 1,2/2 (īsviļņi) [19].

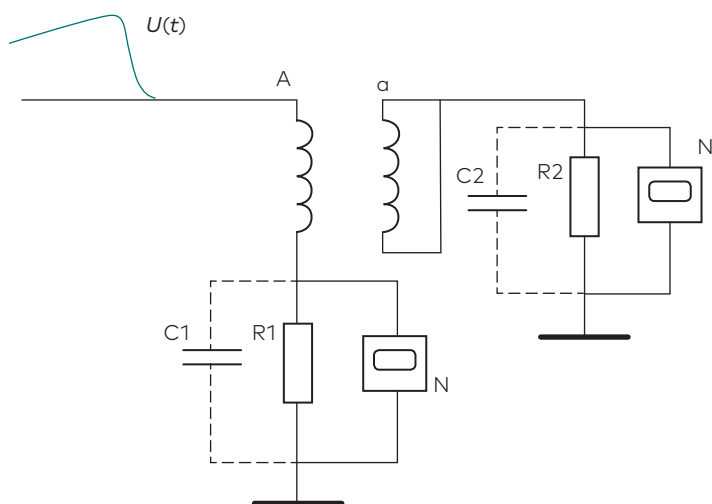
Elektroietaišu pretestības izolāciju pārbauda ar impulsiem, simulējot zibenszlādes radītu pārspriegumu. Elektroietais pārbauda ar pilna perioda impulsspriegumu (sprieguma impulsa fronte: 1,2  $\mu\text{s}$ , impulsa ilgums: līdz 0,5  $\mu\text{s}$ , amplitūdas lielums: 50  $\mu\text{s}$ ) un īsviļņu impulsspriegumu 1,2/2 (impulsa fronte: 1,2  $\mu\text{s}$ , impulsa ilgums: 2  $\mu\text{s}$ ). Pilna perioda impulss ir parādīts 4.2. attēlā.



**4.2. att.** Elektroietaišu izolācijas pārbaudes sprieguma impulss 1,2/50 (pilns periods): impulsa fronte ir 1,67 reizi garāka nekā intervāls starp 0,3 un 0,9 sprieguma amplitūdas lielumu (punkti A un B);  $\tau_f = 1,2 \mu\text{s} \pm 0,36 \mu\text{s}$ ;  $\tau_i = 50 \mu\text{s} \pm 10 \mu\text{s}$ .

Īss izlādes vilnis var rasties divējādi: kad izlāde notiek, samazinoties spriegumam, proti, impulsa dzēšanas daļā, vai impulsa frontē.

Impulsa pārbažu nolūks ir pārbaudīt tinumu dzīslu izolācijas stāvokli un kvalitāti. 4.3. attēlā ir redzama izolācijas aktīvās pretestības impulsa pārbaudes shēma. Zemējuma vietā ir uzstādīti sensori (75  $\Omega$  pretestība, kondensators, ja jutība ir jāpalielina), aizsargelementi un osciloskops to impulsu reģistrēšanai, kas īsāki par 1  $\mu\text{s}$ .



N – R1 un R2 bāzes prettestības osciloskops

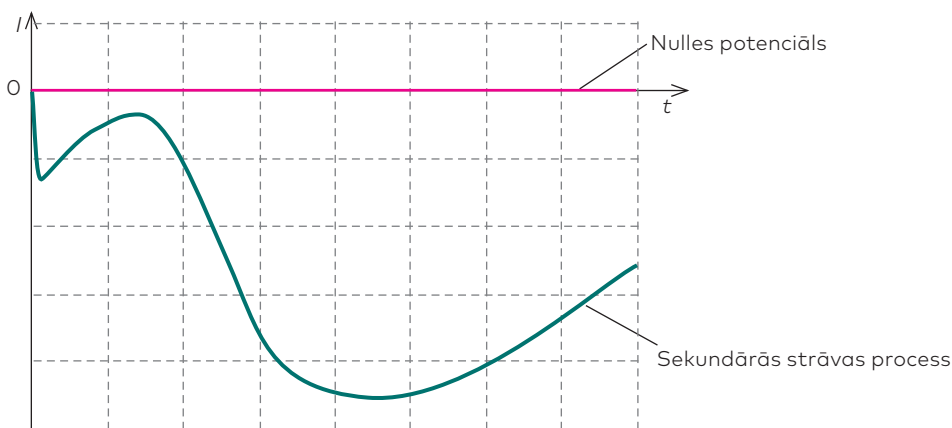
C1 un C2 – augstas frekvences troksni bloķējoši kondensatori

4.3. att. Dzīslas izolācijas pilna impulsa pārbaudes principshēma.

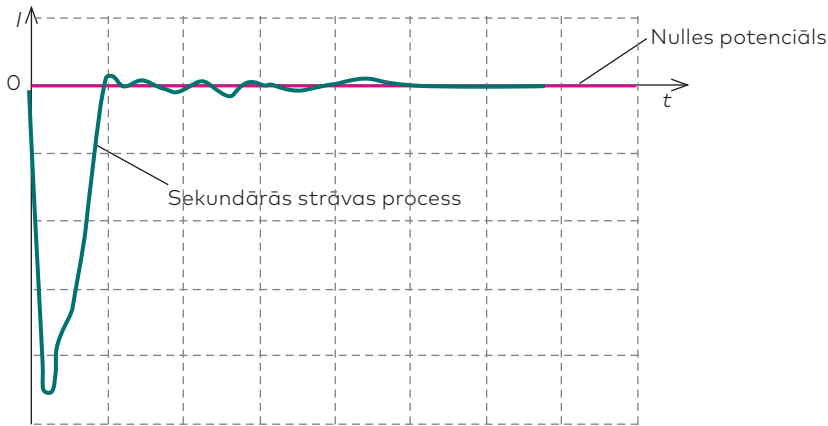
Izolācija tiek pārbaudīta, 3–5 reizes pieslēdzot pilna perioda impulsspriegumu. Izolācijas stāvoklis tiek pārbaudīts, analizējot oscilogrammu. Pēc dzīslas izolācijas pārbaudes bez eļļas dzēšanas viļņa sprieguma amplitūdu iestata tā, lai tā atbilstu izolācijas klasei. Izolācija tiek pārbaudīta, 3–5 reizes pieslēdzot dzēšanas viļņa impulsspriegumu. Izolācijas stāvoklis tiek pārbaudīts, analizējot oscilogrammu.

Kalibrētais 50 % impulsspriegums tiek pieslēgts tām katras fāzes kopnes daļām, kas savieno kopni ar citām fāzēm un ar sprieguma impulsa ģenerators zemējuma vietām. Intervāls starp impulsiem ir 30–50 sekundes. Izolācija tiek pārbaudīta ar negatīvas un pozitīvas polaritātes impulsiem (3 impulsi katram ievadam).

Izolācijas pārklāšanos var noteikt, analizējot oscilogrammas. Pēkšņas sprieguma izmaiņas var radīt būtisku iekšējās izolācijas bojājumu. Procesi sekundārajā ķēdē, kad uz izolāciju iedarbojas pilna perioda negatīvas polaritātes impulss un kad izolācija ir apmierinoša, ir parādīta 4.4. attēlā, bet caursite – 4.5. attēlā.

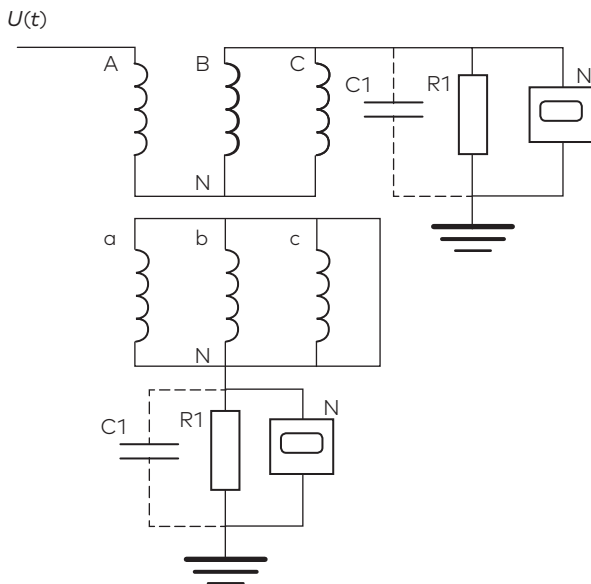


4.4. att. 100 kVA spēka transformatora sekundārās strāvas izmaiņu stilizēta oscilogramma (pārbaudot izolāciju ar pilna perioda impulsu).



4.5. att. Sekundārajā tinumā reģistrētā strāvas oscilogramma, kad pārbaudes laikā izolācijā notiek caursīte.

4.6. attēlā ir redzama trīsfāžu spēka transformatora savienojuma shēma, kad viens ievads tiek testēts ar pilnu impulsu.



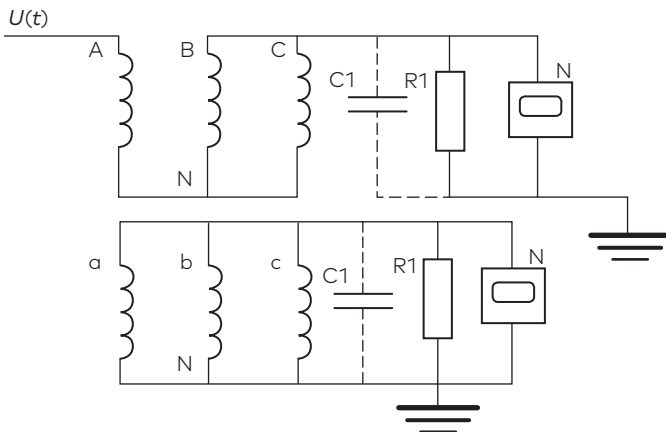
4.6. att. Shēma transformatora izolācijas pārbaudei ar pilnu impulsu.

Dzīslas izolācijas testi notiek ražotāja akreditētās laboratorijās vai specializētās laboratorijās. Lai pārbaudītu spēka transformatora izolāciju ar īsa impulsa vilni, tiek izmantots pilna perioda negatīvas polaritātes impulss, kas tiek ierobežots līdz pārbaudes spriegumam atbilstošajai dzirksteļspraugai. Dzirksteļsprauga var veidoties starp lodēm. Izmantojot lodes, īsviļņu impulsa ilgums ir līdz 2  $\mu$ s. Spēka transformatora savienojuma shēma šai pārbaudei ir parādīta 4.7. attēlā.

Spēka transformatora tinumi tiek notīrīti, nožāvēti un sagatavoti uzstādīšanai atbilstoši normatīvajām prasībām. Pārbaudot izolāciju, zemējuma vietā ir uzstādīti sensori (75  $\Omega$  pretestība, kondensators, ja jutība ir jāpalielina), aizsargelementi un osciloskops to impulsu reģistrēšanai, kas īsāki par 1  $\mu$ s. Mērījumu shēma tiek saskaņota, tiek izvietoti drošības fiksatori un pārvietojamie zemētājslēdži. Impulssprieguma ģenerators tiek sagatavots atbilstoši standarta (ražotāja standarta) pilnajam periodam. Pēc dzīslas izolācijas pārbaudes bez eļļas pilna perioda amplitūdu iestata tā, lai tā atbilstu izolācijas klasei.

Izolācija tiek pārbaudīta, 3–5 reizes pieslēdzot pilna perioda impulsspriegumu. Izolācijas stāvoklis tiek pārbaudīts, analizējot oscilogrammu. Jāveic papildu kontrole, pārbaudes

laikā ar termovizoru ierakstot tinumu termogrammas un vizuāli pārbaudot tinumu izolācijas stāvokli.



4.7. att. Shēma transformatora izolācijas pārbaudei ar īsviļņa impulsu.

Nav vispārīgu normu primārajā un sekundārajā ķēdē reģistrēto dzēšanas viļņu oscilogrammu raksturošanai. Izolācijas kvalitāti var noteikt, novērtējot impulsa dzēšanas aprīkojumu. Ja ir izmainītas impulsa dzēšanas raksturliiknes (kavēta vai neesoša izlāde dzirksteļspraugā), transformatora izolācija var būt bojāta.

### 4.3. Tiešās izolācijas pārbaudes metodes

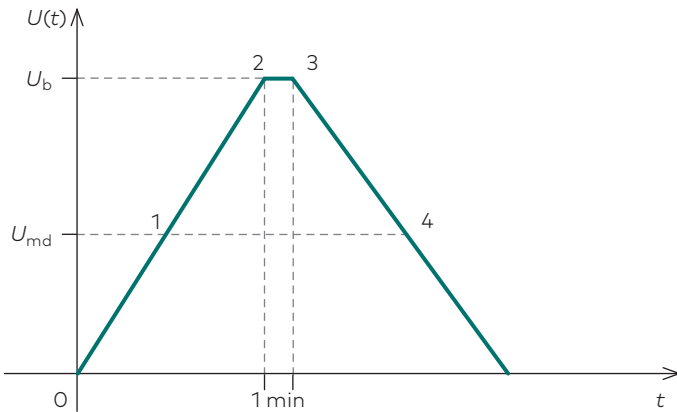
Elektrotīkla izolāciju nepārtraukti ietekmē dažādas sprieguma svārstības, ko izraisa slodzes izmaiņas, elektroapgādes ķēdes, darbojošos ģeneratoru skaits utt. Rūpnieciskās frekvences spriegums var mainīties īsos impulsos; to izraisa pārejas procesi enerģotīklos vai ārēji faktori, piemēram, blakus esošu ķēžu ietekme vai zibensizlāde. Uz elektroietaisēm attiecas maksimālais tīklā pieļaujamais darba spriegums (4.1. tabula). Elektroietaišu darba spriegumam ir noteiktas robežas, kas atbilst augstākajai pieļaujamajai robežai: 20 % 3–20 kV līnijā, 15 % 35–220 kV līnijā, 10 % 330 kV līnijā un 5 % 500 kV līnijā.

4.1. tabula

#### Augstākais pieļaujamais spriegums elektrotīklā

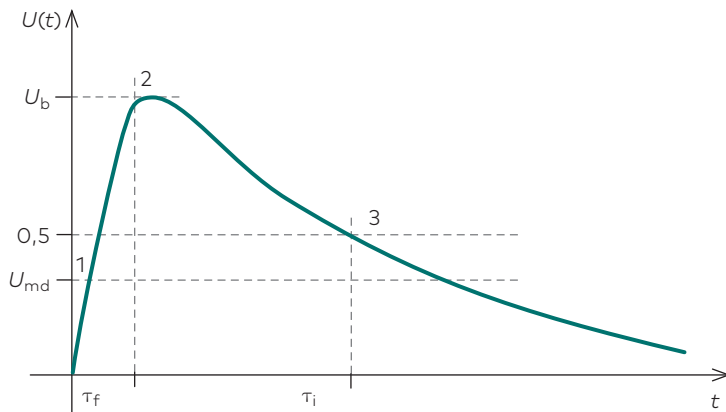
Nominālais spriegums, kV	6	10	35	110	150	220	330
Augstākais pieļaujamais spriegums, s. v.	1,20	1,20	1,15	1,15	1,15	1,15	1,10

Tiešas metodes izolācijas stāvokļa pārbaudei un kontrolei vairāk vai mazāk bojā aprīkojuma izolāciju un samazina tā resursus. Šādas pārbaudes laikā spriegums tiek īslaicīgi palielināts līdz pārbaudes spriegumam  $U_b$  un spriegumam, kas pārsniedz maksimālo pieļaujamo ilgstošas darbības spriegumu  $U_{md}$ . Šādu pārbaudīšanu nolūks ir pārbaudīt izolācijas pretestību pret maksimālo darba spriegumu, komutāciju, rezonansi un zibensizlādes pārspriegumu. Pārbaudes sprieguma veidi ir šādi: 50 Hz frekvence (4.8. att.), impulsspriegums, kas simulē zibensizlādi (4.9. att.) un komutācijas pārspriegumu (4.10. att.), un pārbaudes testa impulss (4.2. att.).



**4.8. att.** Aprīkojuma izolācijas pārbaude pie 50 Hz pārbaudes sprieguma: intensīvāka novecošanās notiek 1, 2, 3 un 4 izolācijas punktā;  $U_{md}$  – maksimālais pieļaujamais spriegums;  $U_b$  – izolācijas pārbaudes spriegums.

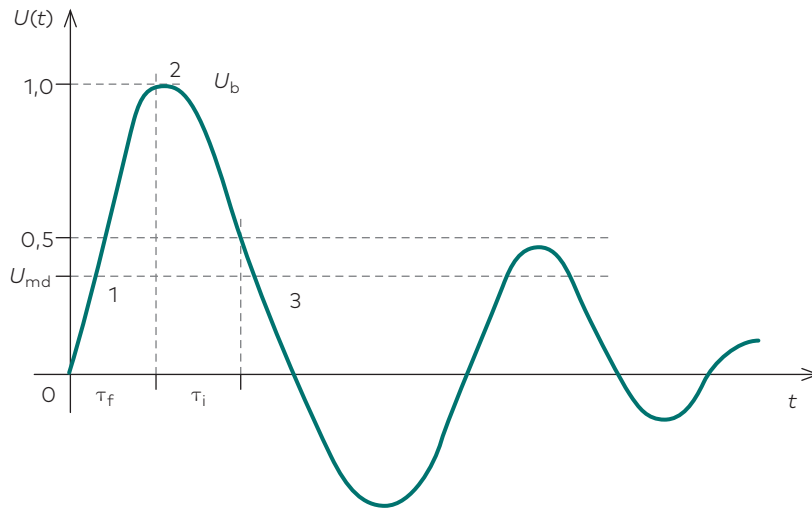
Pēc 50 Hz pārbaudes sprieguma pieslēgšanas ir iespējams noteikt izolācijas pretestību un iespējamus defektus, kā dēļ aprīkojumu vairs nevar izmantot. Veicot pārbaudi ar paaugstinātu spriegumu, patiesā izolācijas pretestība netiek noteikta, jo tā bojātu izolāciju. Lai pēc pārbaudes izolācija būtu pietiekami izturīga, pārbaudes spriegumam jābūt zemākam nekā vājākās izolācijas daļas caursites spriegums. Eksploatācijas pārbaudes spriegums un pārbaudes apstākļi ir standartizēti. Pārbaudes spriegums ir 50 Hz un nolīdzināts. Pārbaudot elektroietaišu izolāciju ar 50 Hz spriegumu, kura vērtība ir līdz 30 % no pārbaudes sprieguma, sprieguma palielināšanas ātrums nav noteikts, vēlāk tas ir potenciāli augstāks, bet pēc 1 minūtes to pakāpeniski samazina līdz 0 % vai 30 % no pārbaudes sprieguma.



**4.9. att.** Zibensizlādes sprieguma pārbaudes impulss aprīkojuma izolācijā: intensīvāka novecošanās notiek 1, 2 un 3 izolācijas punktā;  $U_{md}$  – maksimālais pieļaujamais spriegums;  $U_b$  – izolācijas pārbaudes spriegums.

Veiksmīga izolācijas tiešā pārbaude ar 50 Hz spriegumu ļauj novērtēt izolācijas kvalitāti un prognozēt tās uzticamu darbību pie darba sprieguma un iespējamiem pārspriegumiem. Tiešās pārbaudes trūkumi ir tas, ka ir jāatslēdz darba spriegums ierīcē, aprīkojumam ir jāļauj palielināt spriegumu līdz pārbaudes spriegumam vai veidot pārbaudes impulsu, pārbaudes laikā samazinās izolācijas resursi, izolācija tiek bojāta un netiek pilnībā garantēts, ka izolācijas pretestība eksploatācijas laikā būs pietiekama iespējamu pārspriegumu gadījumā.



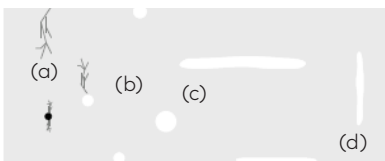


**4.10. att.** Aprīkojuma izolācijas izmēģinājuma komutācijas periodiskais sprieguma impulss: intensīvāka novecošanās notiek 1, 2 un 3 izolācijas punktā;  $U_{md}$  – maksimālais pieļaujamais spriegums;  $U_b$  – pārbaudes impulsa sprieguma amplitūda.

## 5. AUGSTSPRIEGUMA IETAIŠU DIAGNOSTIKA, NEATSLĒDZOT SPRIEGUMU

Elektroietaišu ekspluatācijas laikā to izolācija tiek pakļauta dažādiem impulsiem un pārspriegumiem. Impulsi var būt īslaicīgi (ko izraisa zibensizlāde) vai ātri rimstoši (izraisa komutācija) [6]. Tie visi tieši ietekmē izolāciju, palielina daļējas izlādes līmeni, izolācijas defektus u. c. Augstsprieguma ietaišu izolāciju ietekmē arī dažādi ekspluatācijas procesi: vibrācija, augsta temperatūra, sildīšanas un dzesēšanas cikli, darba spriegums, pastāvīgā un dinamiskā slodze [4], [5], [15], [26], [28]. Arī vides apstākļu (mitrums, ķimikālijas, dažāda veida radiācija, putekļaina vide) ietekme veicina izolācijas nolietošanos. Izolācijas kalpošanas laiks ir atkarīgs no termiskās, mehāniskās un elektriskās ietekmes un tās intensitātes.

Ekspluatācijā esošās elektroietaisēs parasti tiek noteikts daļējas izlādes līmenis. Daļēja izlāde attiecas uz izlādi, kas notiek cietās vai šķidrās izolācijas defektos pie pieslēgta sprieguma. Daļēja izlāde no citām elektriskajām izlādēm atšķiras ar to, ka tas ir unipolārs process [18]. Unipolāra izlāde ir elektriskās izlādes process, kurā nav brīvo lādiņu. Daļēja izlāde var notikt izolācijas vājākajā punktā (samitrinātā, piesārņotā ar piejaukumiem u. c.) vai spēcīgā elektriskajā laukā tuvu asiem elektrodiem. Visbīstamākās daļējas izlādes notiek cietās vai šķidrās izolācijas gāzveida mikrokosmā un slāņu dobumos un plaisās (5.1. att.), kur izlāde notiek pie daudz vājāka elektriskā lauka nekā šķidrās vai cietās izolācijas cietajā daļā.



**5.1. att.** Cietās izolācijas dažādi strukturālie defekti. a – kokveidīgs defekts, b – sfērisks defekts, c – elektriskā lauka spēkiem perpendikulārs defekts, d – defekts gar elektriskā lauka spēkiem [11].

Defekti var būt dažādas formas, tomēr visspēcīgākā daļējā izlāde notiek defektos, kas ir gari un atrodas paralēli elektriskā lauka līnijām (5.1. d att.). Daļējas izlādes process ir intensīvāks izolācijā pie zemējumvada šaurajiem leņķiem un kad defekts atrodas tuvu strāvu vadošajām daļām. Elektromašīnu izolācijā defekti parasti ir paralēli izolācijas virsmai un vienlaikus perpendikulāri elektriskā lauka  $E$  līnijām (5.1. c att.). Šāda izolācija ir slāņaina un tiek veidota, aptinot attiecīgos izolācijas materiālus. Tajā notiekošās daļējas izlādes intensitāte ir zemāka nekā tai izlādei, kas notiek defektos, kas ir perpendikulāri izolācijas virsmai (5.1. d att.). Šādu defektu veidu parasti nosaka izolācijas brāķis vai plaisa. Ja izolācija ir bojāta, bieži vien veidojas ar gaisu pildīti caurumi (5.1. b att.). Novecošanās rezultātā var veidoties kokam līdzīgas plaisas (5.1. a att.). Daļēja izlāde var būt no 0,01 pC līdz  $10^6$  pC. Nosakot daļējas izlādes vērtību, ir ļoti svarīgi izšķirt sākotnējo daļējo izlādi un kritisko daļējo izlādi [11].

Sākotnējā daļējā izlāde (10–100 pC) ir mazāk bīstama aprīkojuma izolācijas darbībai, tomēr sākotnējās daļējās izlādes līmenis nosaka izolācijas novecošanās ātrumu. Pieļaujamā sākotnējā izlāde ir līdz 50 pC (cietajai izolācijai).

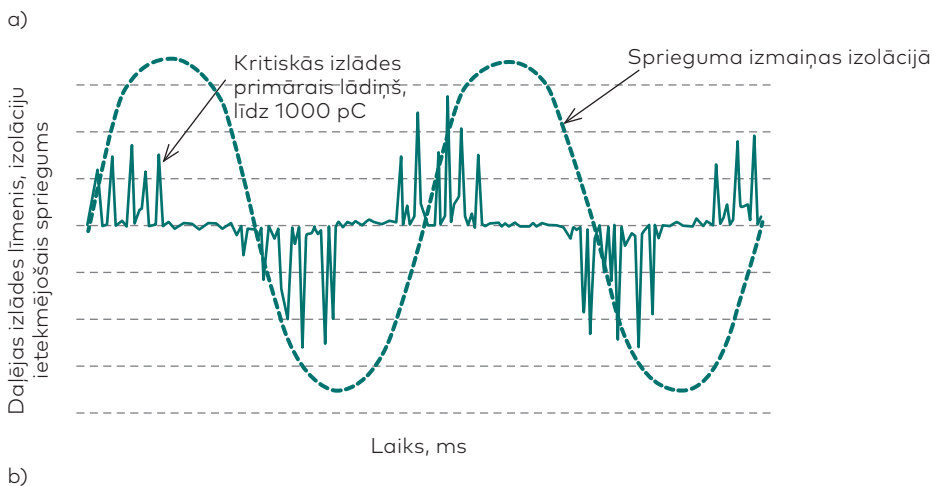
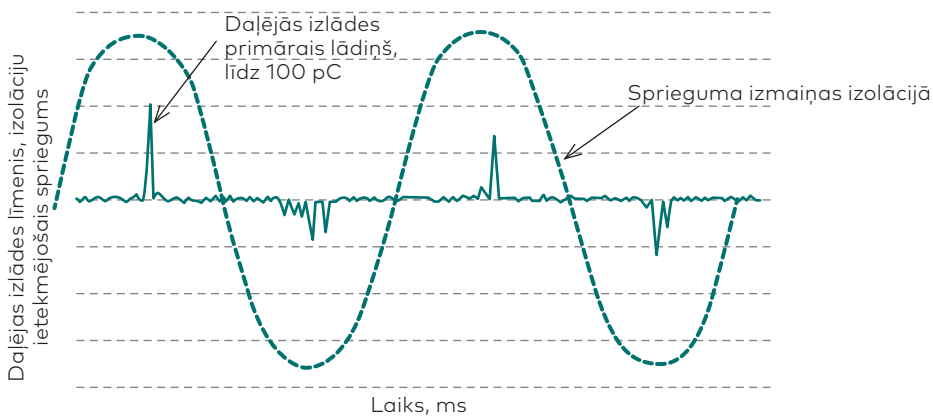
Kritiskā daļējā izlāde ir līdz 1000 pC (vai vairāk atkarībā no materiāla). Kad tiek pārniegta kritiskā daļējā izlāde, izolācijā sākas intensīvi dielektriķa sadalīšanās procesi. Ja uz izolāciju iedarbojas daļējā izlāde no 1000 pC līdz 10000 pC, tas var būtiski bojāt izolācijas cieto komponentu pāris desmitu stundu laikā un radīt sadegšanas pēdas. Pie  $10^6$ – $10^7$  pC daļējās izlādes izolācijā aizdegas elektriskais loks. Šādas daļējās izlādes vērtības nav pieļaujamās ne izolācijas pārbaudes laikā ar paaugstinātu spriegumu, ne īslaicīgu pārspriegumu laikā.

Daļēja izlāde, kas notiek dielektriķī, rada elektromagnētisku impulsu, kura oscilogramma ir parādīta 5.2. attēlā. 5.2. a attēlā ir parādīta tipiska daļējas izlādes oscilogramma. Līdzīgas amplitūdas un intensitātes impulsus iegūst pozitīva un negatīva sprieguma pusperiodos. Vecākas izolācijas daļējas izlādes oscilogramma osciloskopā ir redzama 5.2. b attēlā. Tajā redzamā daļējas izlādes intensitāte ir pietiekami liela.

Daļējas izlādes enerģija ir neliela, tomēr tās viengabalainība var būtiski bojāt izolāciju. Kaut arī katra daļējā izlāde ir neliela, tā notiek ļoti ierobežotā vietā dučiem reižu viena perioda laikā [5]. Šī perioda laikā, ja daļējā izlāde ir pietiekami intensīva, tā var novest pie izolācijas caursītes. Biežākais daļējās izlādes veidošanās iemesls ir ilgstoša izolācijas termiskā novecošanās, ko pavada pilnīga elektriskā caursīte. Daļēja izlāde parasti notiek novājinātā izolācijas vietā (mitrā vietā vai uz netīras virsmas). Izlāde var veidoties vietā, kur tiekas dažādi izolācijas materiāli [12].

Daļējas izlādes process ir nestabils. Uz ekspluatācijā esoša aprīkojuma izolāciju pastāvīgi iedarbojas spēcīgs elektromagnētiskais lauks. Ārējā lauka sprieguma ietekmē daļējās izlādes process pastiprinās un palielinās lādiņš (daļējas izlādes līmenis).

Temperatūra izolācijas kalpošanas laiku ietekmē visspēcīgāk [10], [27]. Augstā temperatūrā izolāciju ietekmē termiskie procesi, piemēram, oksidācija un sairšana. Šie procesi pārsprieguma gadījumā norit vēl aktīvāk. Šie procesi samazina mehānisko izturību, rada elastības zudumu un gāzveida komponentu izdalīšanos, kas noved pie tādu gāzveida materiālu veidošanās, kas aizpilda cietās izolācijas defektu telpu [5].

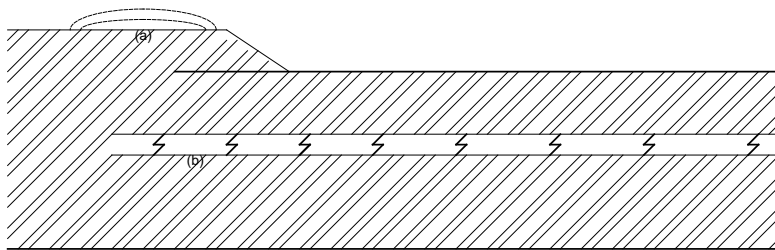


**5.2. att.** Daļējas izlādes diagramma: a — tipiskas daļējas izlādes diagramma, b — intensīvas daļējas izlādes diagramma.

Daļēja izlāde var notikt gan cietas, gan šķidrās izolācijas bojājumu vietās, kad ierīce ir pieslēgta augstam spriegumam. Ja izolācija ir novājināta (ja tā ir samirkusi vai satur piemaisījumus), daļēju izlādi rada arī spēcīgs elektriskais lauks, it īpaši tuvu asiem elektrodiem.

Elektriskā lauka iedarbībā un tad, ja izolācijas materiāls ir novecojis, daļēja izlāde veidojas visā izolācijā. Šādu izlādi sauc par iekšējo izlādi. Ja ir bojāta aizsargājamā virsma, daļēja izlāde var veidoties gaisa spraugā starp magnētserdes rievu un tinuma virsmu vai vietā, kur sekcija iznāk no magnētserdes. Šādā gadījumā veidojas virsmizlāde [12]. Iekšējā izlāde ir īpaši bīstama cietai izolācijai, jo šāda veida izlāde bojā visa veida organiskos materiālus. Nelieli dobumi vai gaisa defekti izolācijā saīsina izolācijas ekspluatācijas resursus. Šāds apstāklis var būt izšķirīgs un novest pie pilnīgas izolācijas caursītes, ko izraisījis elektriskais lauks.

Negatīvas iedarbības sekas izolācijā ir atkarīgas no izolācijas biezuma un iedarbības sprieguma amplitūdas. Daļēja izlāde var rasties arī elektromašīnas statora izolācijā pie nominālā sprieguma. Izolācijai uzsilstot, saistošais materiāls starp izolācijas elementiem sairst. Vibrācija rada plaisas, iegriezumus izolācijas slāņos. Bojātā izolācijā notiek jonizācija, kas samazina izolācijas elektrisko pretestību un pilnībā noārda izolāciju. Iekšējā izlāde un virsmizlāde ir parādīta 5.3. attēlā.



5.3. att. Virsmizlāde (a) un iekšējā izlāde (b) izolācijā [27].

Virsmizlāde notiek daudzās augstsprieguma ierīcēs. Tā ir atkarīga no vairākiem faktoriem:

- tās vides fizikālajām īpašībām, kas rada piemērotus apstākļus izlādei (gāze, gaiss);
- cietās izolācijas fizikālajām īpašībām (dielektriskā caurlaidība, virsmas stiprība, īpatnējā vadītspēja);
- elektriskā lauka izplatības telpā starp elektrodiem;
- spēka līniju virziena attiecībā pret dielektriķa materiāla virsmu;
- cietā dielektriķa virsmas (piesārņojums, piesūcināmības);
- izmantotā sprieguma veida un ilguma.

Nemot vērā iepriekš minēto, virsmizlāde var notikt abās statora rievu pusēs un tinuma izvadā magnētserdes malā. Telpa starp statoru un izolācijas virsmu ir pildīta ar gaisu.

Koronizlāde notiek sprieguma iedarbībā vietās, kur neviendabīgs elektriskais lauks ir īpaši stiprs [18]. Šī izlāde notiek uz izolācijas virsmas un ir zināma kā slīdizlāde.

Spriegumam palielinoties un samazinoties, daļējas izlādes līmenis mainās nevienmērīgi. Ja spriegums ir pieslēgts modelim un tiek palielināts līdz maksimumam, daļējas izlādes amplitūda pakāpeniski palielinās un pēc laika (~15 min) stabilizējas. Atgriezeniskais spriegums būs zemāks nekā sākotnējais histerēzes dēļ. Šo efektu rada defekta jonizācija. Vairumā gadījumu tas rodas dielektriķa cietās izolācijas gaisa dobumos, kur ir sastopams mitrums.

Galvenais parametrs, kas raksturo daļēju izlādi izolācijā, ir pilnais lādiņš  $q$ . Pilnais lādiņš ir daļējas izlādes impulss, kuru mērierīce atspoguļo tāpat kā daļējas izlādes strāvas impulsu, ja šis lādiņš ļoti īsu laiku atrodas skaidri noteiktā pārbaudes ķēdē starp pārbaudāmā priekšmeta izvadiem. Pilno lādiņu parasti izsaka pikokulonos (pC). Daļēju izlādi raksturo arī impulsa atkārtšanās koeficients, impulsa frekvence, impulsa rašanās fāzes leņķis, izlādes strāva un izlādes jauda. Daļējas izlādes impulsa atkārtšanās koeficients ir noteiktā laika posmā reģistrēto daļējo izlāžu kopējā skaita attiecība pret šī laika posma ilgumu. Praksē vērā tiek ņemti tikai tie impulsi, kas ir lielāki par precīzi noteiktu amplitūdu. Daļējas izlādes impulsa frekvence  $N$  ir daļējo izlāžu skaits sekundē ar vienādu starplaiku. Daļējas izlādes impulsa fāzes leņķi izsaka atbilstoši 5.1. formulai:

$$\Phi_i = 360 \frac{t_i}{T_p}, \quad (5.1.)$$

kur  $t_i$  – laiks starp iepriekšējā pozitīvā pārbaudes sprieguma svārstību caur nulli un daļējas izlādes aiztures impulsu,

$T_p$  – sprieguma periods.

Ja ir zināms daļējas izlādes lādiņš un laika posms daļējas izlādes impulsa aprēķināšanai, var noteikt vidējo izlādes strāvu:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^m |q_i|}{T_1}, \quad (5.2.)$$

kur  $q_i$  –  $i$ -tā izlādes vērtība,

$T_1$  – laika intervāls daļējas izlādes impulsu aprēķināšanai.

Reizinot daļējas izlādes laikā ģenerēto spriegumu ar attiecīgo lādiņu un dalot to ar laika intervālu daļējas izlādes impulsu aprēķināšanai, mēs iegūstam izlādes jaudu:

$$P_{DI} = \frac{\sum_{i=1}^m |q_i u_i|}{T_1}, \quad (5.3.)$$

kur  $u_i$  – momentānā  $i$ -tā sprieguma vērtība pie  $i$ -tās izlādes.

Daļējas izlādes līmenis, kas reģistrēts ekspluatācijas sākumā, ir viens no kritērijiem uzticama kalpošanas laika noteikšanā. Regulāri reģistrējot daļējas izlādes parametrus, ir iespējams noteikt izolācijas novecošanās tendences un laikus prognozēt nepieciešamos preventīvos pasākumus izolācijas resursu atjaunošanai.

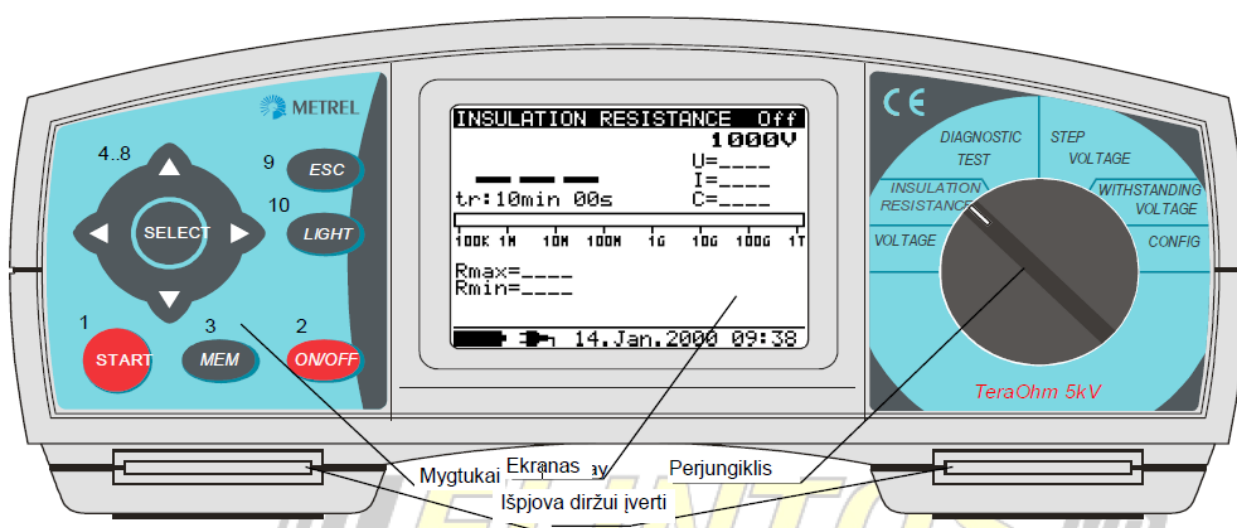
## 6. PRAKTISKIE UZDEVUMI

Mācību programmas “Augstsprieguma ietaišu parametru mērīšana” praktisko uzdevumu ietvaros ir jāveic 10 dažādi uzdevumi. Daži no tiem ir iekļauti šajā nodaļā. Tiek izmantotas 4 galvenās ierīces:

- 1) *Metrel MI 2077*;
- 2) *Doble DFA300*;
- 3) *Metrel MI 3121H*;
- 4) *Radiodetection C.A.T4+* un *Genny 4*.

Trīs praktiskos uzdevumus ir paredzēts veikt ar *Metrel MI 2077* (6.1. att.).

1. **Polarizācijas indeksa un dielektriķa izlādes koeficienta mērīšana.**
2. **Izolācijas pretestības mērīšana pie noteikta fiksēta sprieguma.**
3. **Izolācijas pārbaude ar paaugstinātu spriegumu.**



6.1. att. Ierīce *Metrel MI 2077*.

Apraksts:

- 1 – **START** poga veic mērījumu.
- 2 – **ON/OFF** poga ieslēdz vai izslēdz ierīci.
- 3 – **MEM** poga saglabā, atver vai dzēš rezultātus.
- 4 – **SELECT** poga ir paredzēta lielumu un iestatījumu iestatīšanai.
- 5 – ▲ poga kursoru pavirza augšup.
- 6 – ▼ poga kursoru pavirza lejup.
- 7 – ◀ poga samazina atlasītā parametra vērtību.
- 8 – ▶ poga palielina atlasītā parametra vērtību.
- 9 – **ESC** poga pabeidz iestatīšanu.
- 10 – **Light** poga ieslēdz vai izslēdz ekrāna apgaismojumu.

Tehniskie pamatparametri:

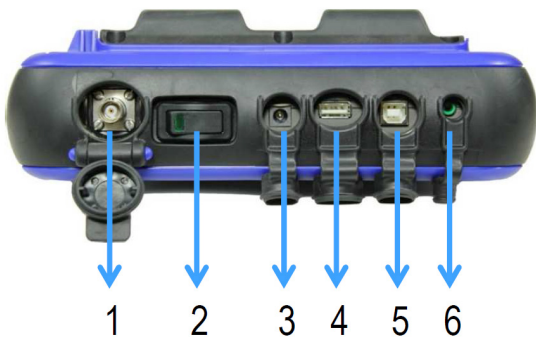
- 1) nominālais pārbaudes spriegums: no 250 V līdz 5000 V;
- 2) īsslēguma strāva: 1,4 mA maks.;
- 3) automātiskā izlāde: jā;
- 4) mērapjoms: no 0,12 MΩ līdz 5 TΩ.

Divi praktiskie uzdevumi ar daļējās izlādes akustisko mēraparātu *Doble DFA300* (6.2., 6.3. att.).

1. Daļējās izlādes mērīšana ar ultraaugstu frekvenci.
2. Daļējās izlādes mērīšana elegāzes izolācijas sistēmās.



6.2. att. Ierīce *Doble DFA300*.



- 1 – 25/5000 antenas/sensora ligzda
- 2 – ieslēgt/izslēgt
- 3 – 12 VDC
- 4 – USB-A ligzda
- 5 – USB-B ligzda
- 6 – austiņu ligzda

6.3. att. Ierīces *Doble DFA300* apraksts.

Tehniskie pamatparametri:

- 1) akustiskās elektromagnētiskās (AE) ievadišanas frekvenču josla (–3 dB): no 10 kHz līdz 500 kHz;
- 2) ultraaugstās frekvences ievadišanas frekvenču josla: no 50 MHz līdz 1000 MHz ar 6 MHz *RBW* (izšķidrīspējas joslas platumu);
- 3) atmiņa – 1 GB SD karte;
- 4) sensori – divi sensori mērījumiem eļļpildītās ierīcēs (1 gb.) un mērījumiem sadalīnēs (1 gb.);
- 5) sensori – teleskopiskā antena RFI mērījumiem, sensori akustiskās emisijas mērīšanai (gāzes jaudas slēdžu un kabeļu gala savienojumu pārbaudei), kabeļu sensori, magnēts sensoru uzstādīšanai.

Darba ietvaros ir jāizmanto specializēta datorprogramma.

Trīs praktiskos uzdevumus ir paredzēts veikt ar *Metrel MI 3121H* (6.4. att.).

1. **Izolācijas pretestības mērīšana ar divkabeļu un trīskabeļu shēmu.**
2. **Izolācijas pretestības koeficientu *DAR* un *PI* mērīšana.**
3. **Jaudas slēdža kontaktu pretestības mērīšana.**



6.4. att. Ierīce *Metrel MI 3121H*.

Tehniskie pamatparametri:

- 1) izolācijas pretestības mērīšana: no 0 W līdz 99 GW;
- 2) kļūda diapazonā līdz 199,9 MΩ, ja pārbaudes spriegums ir  $\leq 500$  V:  $\pm 5$  % no mērījuma;
- 3) *PI* un *DAR* koeficientu aprēķināšana: no 0,01 līdz 100,00;
- 4) *PI* un *DAR* koeficientu aprēķināšana diapazonā no 10,0 līdz 100,0:  $\pm 5$  % no mērījuma;
- 5)  $r_{60}$  mērīšana ( $r_{60}$  – izolācijas pretestības mērīšana pēc 60 s);
- 6) pārbaudes sprieguma iestatīšana – ne mazāks kā 100 V, 250 V, 500 V, 1000 V, 2500 V;
- 7) pretestības mērīšana ar 7 mA testa strāvu – ne sliktāka kā 0,1–1999 W;
- 8) kļūda diapazonā līdz 19,9 W:  $\pm (5$  % no mērījuma + 3 s);
- 9) mērījumu rezultātu saglabāšana ierīces atmiņā: 1000 mērījumi;
- 10) iespēja pieslēgt ierīci datoram ar RS-232 un USB.

Divus praktiskos uzdevumu ir paredzēts veikt ar kabeļu detektoru *C.A.T4+* un *Genny 4* (6.5. att.).

1. **Kabeļu meklēšana ar *C.A.T4+* režīmā *POWER* un *RADIO*.**
2. **Kabeļu meklēšana ar *C.A.T4+*, izmantojot raidztvērēju, induktīvo metodi un indukcijas knaibles. Kabeļu dziļuma noteikšana.**

Tehniskie pamatparametri:

- 1) frekvenču raksturlīkne:
  - aktīvās frekvences diapazons – no 50 Hz līdz 1,5 kHz;
  - pasīvās frekvences diapazons – no 15 kHz līdz 30 kHz;
  - generatora frekvences diapazons – 33 kHz  $\pm$  30 Hz;
- 2) dinamiskais diapazons: 120 dB pie 10 Hz;
- 3) dinamiskā pārslodzes aizsardzība: 40 dB pie 50 Hz (automātiski);
- 4) dziļuma mērīšanas diapazons: no 0,1 m līdz 3,0 m;
- 5) novirzes kļūda: ne vairāk kā  $\pm 10$  %.





**6.5. att.** Ierīce C.A.T4+ un Genny 4.

# 1. laboratorijas darbs

## Polarizācijas indeksa un dielektriķa izlādes koeficienta mērīšana

### Darba mērķis

Iemācīties mērīt izolācijas polarizācijas indeksu ( $PI$ ) un dielektriķa izlādes koeficientu ( $DI$ ).

### Darbā izmantojamie instrumenti

Darbā tiek izmantota ierīce *Metrel MI 2077*.

### Darba uzdevumi

1. Izmērīt polarizācijas indeksu ( $PI$ ) pasniedzēja norādītajai ierīcei.
2. Izmērīt dielektriķa izlādes ( $DI$ ) koeficientu pasniedzēja norādītajai ierīcei.

### Darba apraksts

$PI$  ir nomērītais izolācijas pretestības koeficients pēc 1 minūtes un pēc 10 minūtēm. Visā mērīšanas laikā tiek nodrošināts līdzstrāvas spriegums. Iegūtais  $PI$  koeficients tiek attēlots uz ekrāna:

$$PI = \frac{R_{\text{iso\_10min}}}{R_{\text{iso\_1min}}}. \quad (1.)$$

$PI$ koeficients	Pārbaudāmās vielas stāvoklis
1,0–1,5	Nav pieņemams (vecāka veida)
2–4 (E izolācijas klase)	Laba izolācija (vecāka veida)
1 (ļoti augsta izolācijas pretestība)	Modernu sistēmu laba izolācija

Mērīto objektu kapacitāte:

$$C_{\text{max}} = \frac{t \cdot 10^3}{3U}, \quad (2.)$$

kur  $C$  – kapacitāte,  $\mu\text{F}$ ;

$t$  – laika posms (piemēram, 1 min), s;

$U$  – pārbaudes spriegums, V.

Dielektriķa izlādes pārbaude ir nākamā izolācijas pārbaude. Parasti izolācijas materiāls tiek pieslēgts pārbaudes spriegumam uz 10–30 minūtēm. Pēc dielektriķa izlādes pārbaudes beigām dielektriķis tiek izlādēts. Pēc 1 minūtes tiek mērīta reabsorbētā izolācijas materiāla izlādes strāva.

$$DI = \frac{I_{\text{izl\_1min}}}{UC}, \quad (3.)$$

kur  $DI$  – dielektriķa izlādes koeficients;

$I_{\text{izl\_1min}}$  – pēc 1 minūtes mērītā izlādes strāva, mA;

$U$  – pārbaudes spriegums, V;

$C$  – pārbaudāmā priekšmeta kapacitāte, F.

$DI$ vērtība	Pārbaudāmās vielas stāvoklis
> 4	Slikts
2–4	Kritisks
< 2	Labs

Mērījumu gaita:

- pievienojiet pārbaudes izvadus pie ierīces un pārbaudāmā priekšmeta;
- nospiediet **START** pogu un veiciet mērījumu;
- gaidiet, līdz nostrādā taimeris un rezultāts tiek parādīts uz ekrāna;
- gaidiet, līdz tiek izlādēts pārbaudāmais priekšmets;
- mērījumu rezultātu (attēla labajā pusē) var saglabāt, divas reizes nospiežot pogu **MEM**.

## Mērījumu rezultāti

1. tabula

Mērījumu rezultāti

Nr. p. k.	Polarizācijas indekss ( <i>PI</i> )	Dielektriskās izlādes koeficients ( <i>DI</i> )
1		
2		
3		
4		

## Secinājumi

---

---

---

---

---

---

---

---

## 2. laboratorijas darbs

### Izolācijas pretestības mērīšana pie noteikta fiksēta sprieguma

#### Darba mērķis

Iemācīties sagatavot ierīci soļa sprieguma mērīšanai, izmērīt izolācijas pretestību, izmantojot soļa sprieguma metodi.

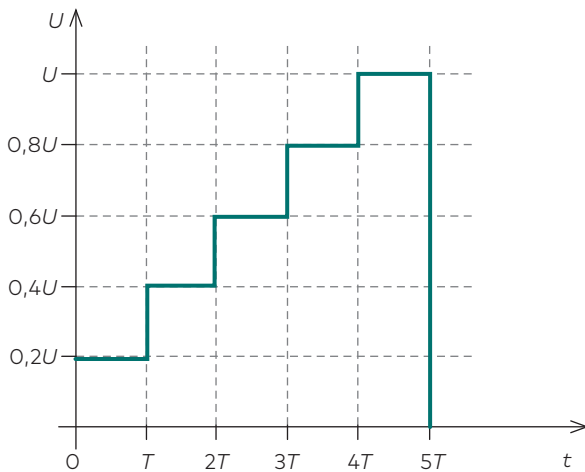
#### Darbā izmantojamie instrumenti

Darbā tiek izmantota ierīce *Metrel MI 2077*.

#### Darba apraksts

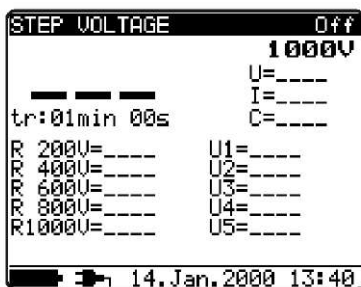
Mērījumu gaita:

- 1) izolācija tiek mērīta piecos vienādos laika posmos, kad mērāmais spriegums mainās no  $1/5$  līdz beigu spriegumam (1. att.). Šī funkcija attēlo izolācijas pretestības atkarību no sprieguma;



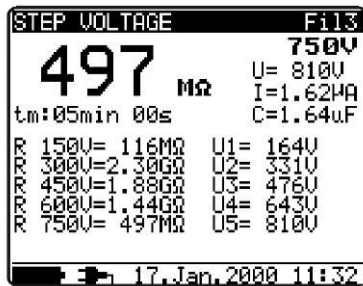
1. att. Pakāpeniski pieaugošs mērāmais spriegums.

- 2) pievienojiet mērīšanas izvadus pie ierīces un pārbaudāmā priekšmeta (2. att.);



2. att. Ekrāna sākotnējais statuss.

- 3) pirms mērījumu veikšanas nospiediet pogu **START**;
- 4) gaidiet, līdz nostrādā taimeris un rezultāts tiek parādīts uz ekrāna (3. att.);



3. att. Rezultātu statuss.

- 5) gaidiet, līdz tiek izlādēts pārbaudāmais priekšmets;
- 6) mērījumu rezultātu var saglabāt, divas reizes nospiežot pogu MEM.

## Mērījumu rezultāti

1. tabula

### Vispārīgie rezultāti

$U, V$	$I, A$	$C, \mu F$	$R, \Omega$

2. tabula

### Rezultāti pie noteikta sprieguma

Nr. p. k.	$U_R, V$	$U_1, V$	$R, \Omega$
1	150		
2	300		
3	450		
4	600		
5	750		

## Secinājumi

---



---



---



---



---



---



---



---

## 3. laboratorijas darbs

### Izolācijas pārbaude ar paaugstinātu spriegumu

#### Darba mērķis

Iemācīties noteikt izolācijas caursītes spriegumu un pārbaudīt izolāciju ar paaugstinātu spriegumu.

#### Darbā izmantojamie instrumenti

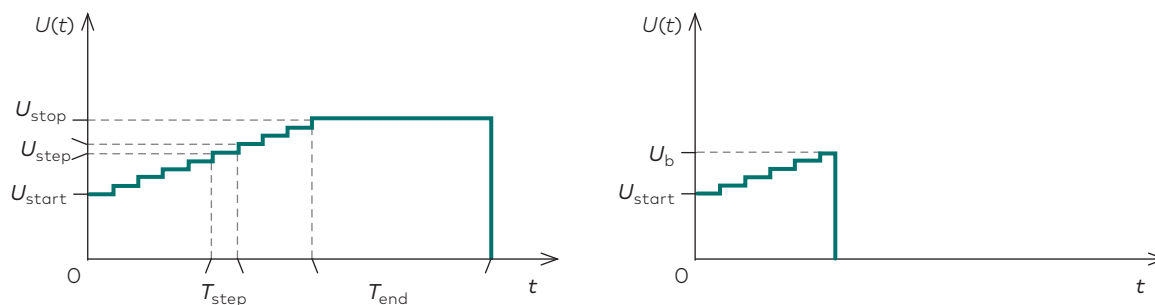
Darbā tiek izmantota ierīce *Metrel MI 2077*.

#### Darba apraksts

Tiks noteikts, cik lielu spriegumu iztur izolācija. Šis uzdevums ietver divu veidu mērījumus:

- 1) augstsprieguma ierīču caursītes sprieguma pārbaudi;
- 2) izolācijas izturētā līdzstrāvas sprieguma pārbaudi.

Lai izpildītu šo uzdevumu, jānosaka caursītes strāva. Pārbaudes spriegums pārbaudes laikā katrā solī palielinās par noteiktu vērtību no sākotnējās vērtības līdz beigu vērtībai, turklāt beigu spriegums tiek uzturēts noteiktu laika posmu (1. att.).



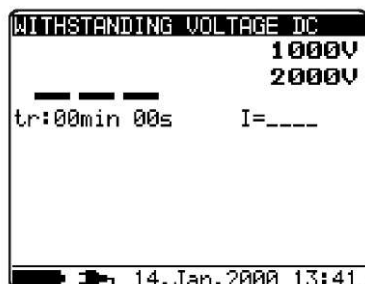
1. att. Pārbaudes spriegums bez caursītes (kreisā puse) un ar caursīti (labā puse).

Paskaidrojumi 1. attēlam:

- $U_t$  – pārbaudes spriegums;
- $U_{stop}$  – pārbaudes sprieguma beigu vērtība;
- $U_{step}$  – soļa spriegums apmēram 20 V (nav noteikts fiksēts spriegums);
- $U_{start}$  – sākotnējais pārbaudes spriegums;
- $T_{step}$  – pārbaudes soļa sprieguma ilgums;
- $T_{end}$  – pārbaudes sprieguma stabils ilgums pēc beigu sprieguma vērtības sasniegšanas;
- $t$  – laiks;
- $U_b$  – caursītes spriegums.

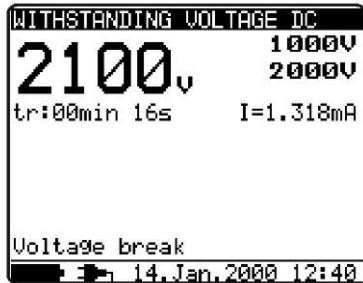
Mērījumu gaita:

- 1) pievienojiet mērīšanas izvadus pie ierīces un pasniedzēja norādītā pārbaudāmā priekšmeta (2. att.);



2. att. Ekrāna sākotnējais statuss.

- 2) pirms mērījumu veikšanas nospiediet pogu **START**;
- 3) gaidiet, līdz nostrādā taimeris vai notiek caursite, un rezultāts tiek parādīts uz ekrāna;
- 4) gaidiet, līdz tiek izlādēts pārbaudāmais priekšmets;
- 5) mērījumu rezultātu (3. att.) var saglabāt, divas reizes nospiežot pogu **MEM**.



3. att. Rezultātu statuss.

## Mērījumu rezultāti

1. tabula

### Caursites un pārbaudes sprieguma rezultāti

Nr. p. k.	Priekšmets	Izolācijas pārbaudes spriegums, V	Izolācijas caursites spriegums, V
1			
2			

## Secinājumi

---



---



---



---



---



---



---

## LITERATŪRA

1. M. F. Cabanas, J. G. Norriella, M. G. Melero, C. H. Rojas, J. M. Cano, F. Pedrayes, and G. A. Orcajo, "Detection of Stator Winding Insulation Failures: On-Line and Off-Line Tests," *2013 IEEE Workshop on Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD)*, pp. 210–219, Mar. 2013. doi.org/10.1109/wemdcd.2013.6525181
2. S. R. Campbell, G. C. Stone, H. G. Sedding, G. S. Klempner, W. McDermid, and R. G. Bussey, "Practical On-Line Partial Discharge Tests for Turbine Generators and Motors," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 9, no. 2, pp. 281–287, Jun. 1994. doi.org/10.1109/60.300147
3. R. Candela, A. Di Stefano, G. Fiscelli, S. F. Bononi, and L. De Rai, "A Novel Partial Discharge Detection System Based on Wireless Technology," *AEIT Annual Conference 2013*, Oct. 2013. doi.org/10.1109/AEIT.2013.6666803
4. B. Chatterjee, D. Dey, and S. Chakravorti, "A Modular Approach for Teaching Partial Discharge Phenomenon Through Experiment," *IEEE Transactions on Education*, vol. 54, no. 3, pp. 410–415, Aug. 2011. doi.org/10.1109/TE.2010.2063432
5. M. Farahani, H. Borsi, E. Gockenbach, and M. Kaufhold, "Investigations on Characteristic Parameters to Evaluate the Condition of the Insulation System for High Voltage Rotating Machines," *Conference Record of the 2004 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, 19–22 Sept., 2004. pp. 4–7. doi.org/10.1109/ELINSL.2004.1380418
6. S. Gudžius, "Investigation of Overvoltages Influence to Equipment Insulation Resource Expenditure in Insulated Neutral Network," *Overvoltages in Power, Electronic, Computer and Engineering: proceedings of the XV international conference on electromagnetic disturbances EMD'2005*, Kaunas-Bialystok, 21–23 Sep., 2005. Kaunas University of Technology, Vilnius Gediminas Technical University, Bialystok Technical University. Kaunas: Technologija, 2005. pp. 169–172. ISSN 1822-3249.
7. M. M. Yaacob, M. A. Alsaedi, J. R. Rashed, A. M. Dakhil, and S. F. Atyah, "Review on Partial Discharge Detection Techniques Related to High Voltage Power Equipment Using Different Sensors," *Photonic Sensors*, vol. 4, no. 4, pp. 325–337, Sep. 2014. doi.org/10.1007/s13320-014-0146-7
8. J. Song, C. Li, L. Lin, Z. Lei, X. Bi, and H. Yang, "Slot Discharge Pattern of 10 kV Induction Motor Stator Coils Under Condition of Insulation Degradation," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 20, no. 6, pp. 2091–2098, Dec. 2013. doi.org/10.1109/TDEI.2013.6678857
9. J. Song, Jingyu Mu, and Bingni Qu, "Development of Diagnosis System for HV Motor Insulation Based on Multi-Parameter Fusion," *2011 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*, 10–12 Jun., 2011. vol. 2, pp. 168–174. doi.org/10.1109/CSAE.2011.5952447
10. V. I. J. Kokko, "Ageing Due to Thermal Cycling by Power Regulation Cycles in Lifetime Estimation of Hydroelectric Generator Stator Windings," *2012 XXth International Conference on Electrical Machines*, Sep. 2012. doi.org/10.1109/ICELMach.2012.6350086
11. F. H. Kreuger, *Partial Discharge Detection In Hight-Voltage Equipment*. Great Britain: Butterwork & Co, 1989. ISBN 0-408-02063-6
12. J. Kurimsky, I. Kolcunova, and R. Cimbal. Partial Discharge Analysis for Insulation Systems of Electric Rotating Machines with Various Voltage Stress. *Acta Electrotechnica Et Informatica*, vol. 4, iss. 8, pp. 64–67, 2008. ISSN 1335-8243
13. B. A. Lloyd, S. R. Campbell, and G. C. Stone, "Continuous On-Line Partial Discharge Monitoring of Generator Stator Windings," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 14, no. 4, pp. 1131–1138, 1999. doi.org/10.1109/60.815038
14. C. V. Maughan and J. M. Resch, "Advances in Motor and Generator Rotor Health," *2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Jun. 2010. doi.org/10.1109/ELINSL.2010.5549730



15. V. Maughan and P. E. Clyde, "Partial Discharge — A Valuable Stator Winding Evaluation Tool," *Conference Record of the 2006 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*. doi.org/10.1109/ELINSL.2006.1665339
16. W. McDermid, "Insulation Systems and Monitoring for Stator Windings of Large Rotating Machines," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 9, no. 4, pp. 7–15, Jul. 1993. doi.org/10.1109/57.223893
17. W. McDermid, "Dielectric Absorption Characteristics of Generator Stator Insulation," *Conference Record of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation (Cat. No. 00CH37075)*. doi.org/10.1109/ELINSL.2000.845561
18. A. Morkvėnas and V. Sučila. Įrenginių Izoliaciją Veikiančių Faktorių Savitarpio Ryšio Tyrimas = The Investigation of Equipment Insulation Factors Interrelation. *Energetikos Ir Elektrotechnikos Technologijos: Konferencijos Pranešimų Medžiaga*. 2001. ISSN 9986139465
19. A. Morkvėnas, et al. *Elektros įrenginių bandymų normos ir apimtytys*. Vilnius: Energetika, 2001. ISBN 9986858127
20. L. Renforth, R. Armstrong, D. Clark, S. Goodfellow, and P. S. Hamer, "A New Technique for the Remote Partial Discharge Monitoring of the Stator Insulation of High-Voltage Motors Located in "Ex" (Hazardous) Locations," *Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC), 2012 Record of Conference Papers Industry Applications Society 59th Annual IEEE*, 2012. doi.org/10.1109/PCICON.2012.6549674
21. L. Renforth, S. Goodfellow, M. Foxall, D. Clark, and R. Shuttleworth, "On-Line Partial Discharge Testing of In-Service Rotating Machines in Ex Hazardous Environments by Employment of Central Monitoring Solutions," *2012 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, pp. 565–570, Jun. 2012. doi.org/10.1109/ELINSL.2012.6251533
22. G. Stone, "A Perspective on Online Partial Discharge Monitoring for Assessment of the Condition of Rotating Machine Stator Winding Insulation," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 28, no. 5, pp. 8–13, Sep. 2012. doi.org/10.1109/MEI.2012.6268437
23. G. Stone, "Condition Monitoring and Diagnostics of Motor and Stator Windings – A Review," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 20, no. 6, pp. 2073–2080, Dec. 2013. doi.org/10.1109/TDEI.2013.6678855
24. G. C. Stone and I. Culbert, "Prediction of Stator Winding Remaining Life From Diagnostic Measurements," *2010 IEEE International Symposium on Electrical Insulation*, Jun. 2010. doi.org/10.1109/ELINSL.2010.5549791
25. G. C. Stone, E. A. Boulter, I. Culbert, and H. Dhirani, "Electrical Insulation for Rotating Machines-Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair – Book Review," *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 20, no. 3, pp. 65–69, May 2004. doi.org/10.1109/MEI.2004.1307097
26. G. C. Stone, M. K. W. Stranges, and D. G. Dunn, "Recent Developments in IEEE and IEC Standards for Off-Line and On-Line Partial Discharge Testing of Motor and Generator Stator Windings," *2014 IEEE Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC)*, 8–10 Sep., 2014. pp. 79–84. doi.org/10.1109/PCICon.2014.6961921
27. C. L. Wadhwa, *High Voltage Engineering*. 2nd ed. New Delhi: New Age International P Ltd., Publishers, 2007. ISBN 9788122418590.
28. P. Wang, G. C. Montanari, and A. Cavallini, "Partial Discharge Phenomenology and Induced Aging Behavior in Rotating Machines Controlled by Power Electronics," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, no. 12, pp. 7105–7112, Dec. 2014. doi.org/10.1109/TIE.2014.2320226

**Par šį dokumenta saturu atbildību uzņemas Kauņas Tehniskā koledža. Šis materiāls nekādā gadījumā neatspoguļo Eiropas Savienības viedokli.**