



LATVIJAS

ENERGOSTANDARTS

LEK

136

Pirmais izdevums
2013

VIDSPRIEGUMA TĪKLA NEITRĀLES DARBA REŽĪMI (IZOLĒTA, KOMPENSĒTA UN MAZREZISTĪVI ZEMĒTA NEITRĀLE)

Anotācija

Latvijas energostandarts LEK 136 sniedz rekomendācijas vīdsprieguma elektrisko tīklu neitrāles triju galveno darba režīmu veidu (izolēta, kompensēta un mazrezistīva neitrāle) izvēlei, projektēšanai, izbūvei un ekspluatācijai. Standarts attiecas uz 6, 10 un 20kV sprieguma (vīdsprieguma) elektrotīkliem, kas pieskaitāmi elektrotīkliem ar spriegumu vīrs 1000V.

© AS „Latvenergo”, teksts, 2013

© Biedrība „Latvijas Elektrotehniskā komisija”, noformējums, makets, 2013

Šīs publikācijas jebkuru daļu nedrīkst reproducēt vai izmantot jebkurā formā vai jebkādiem līdzekļiem, elektroniskiem vai mehāniskiem, fotokopēšana vai mikrofilmas ieskaitot, bez izdevēja rakstiskas atļaujas.

Latvijas Elektrotehniskā komisija
Kr.Barona iela 98, Rīga, LV-1001

Reģistrācijas nr. 182

Datums: 22.04.2013.

LEK 136

LATVIJAS ENERGOSTANDARTS

Satura rādītājs

1. Darbības sfēra	3
2. Atsauces uz normatīviem dokumentiem	3
3. Energostandartā lietotie termini, to definīcijas un burtu apzīmējumi	3
3.1. Pamattermini	3
3.2. Elektroiekārtas un elektroierīces	4
3.3. Zemēšana	5
3.4. Elektrotīkla neitrāles darba režīmi	7
3.5. Strāvas, spriegumi un pretestības zemesslēguma gadījumā	8
4. Tīkla neitrāles izveidošana	9
5. Rekomendācijas tīkla neitrāles darba režīma izvēlei	10
5.1. Izolētas neitrāles tīkli	10
5.2. Kompensētas neitrāles tīkli	11
5.3. Kompensētas neitrāles tīkli ar papildrezistoru neitrālē	13
5.4. Mazrezistīvas neitrāles tīkli	13
6. Rekomendācijas zemesslēgumu relejaizsardzības veidu, iestatījumu izvēlei un bojājuma vietas atrašanai	15
7. Pieskarspriegumu, zemētāju izplūdpresetību un zemējumietaišu pilno presetību vērtību normēšana	17

Pielikums 1 Aprēķinu metodika „Pieskarsprieguma un pieļaujamās zemējuma kontūra izplūdpresetības noteikšana vīdsprieguma tīklā ar izolētu, kompensētu vai mazrezistīvu zemētu neitrāli”

1. Problēmas nostādne	22
2. Strāvu sadalījums zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zonā un aizvietošanas shēma	24
3. Metodikā lietotie parametri un to burtu apzīmējumi	27
4. Pieskarsprieguma samazināšanas pasākumi	28
4.1. Speciālie pasākumi M (LVS EN 50522 Pielikums E [4])	28
4.2. Papildpasākumi, lai UE vērtību pieļautu līdz 4UTP	30
5. Pieskarsprieguma pārbaudes un zemētāja izplūdpresetības aprēķina piemēri	30
5.1. Piemērs pieskarsprieguma aprēķinam 20kV kompensētas neitrāles tīklā	30
5.2. Piemērs pieskarsprieguma aprēķinam 20kV gaisvadu tīkla sekcionejoša atdalītāja apkalpes zonā	32
5.3. Piemērs pieskarsprieguma aprēķinam 20 kV kompensētas neitrāles tīklā bez papildzemējumietaisēm	33
5.4. Piemērs apakšstacijas zemētāja izplūdpresetības aprēķinam 10kV mazrezistīvas neitrāles tīklā	34
5.5. Piemērs pieskarsprieguma aprēķinam 10kV mazrezistīvas neitrāles tīklā	36

1. Darbības sfēra

Latvijas energostandarts LEK 136 sniedz rekomendācijas vīdsprieguma elektrisko tīklu neitrāles triju galveno darba režīma veidu (izolēta, kompensēta un mazrezistīva neitrāle) izvēlei, projektēšanai, izbūvei un ekspluatācijai. Energostandarts attiecas uz 6, 10 un 20 kV sprieguma (vīdsprieguma) elektrotīkliem, kas pieskaitāmi elektrotīkliem ar spriegumu vīrs 1000 V.

Šis energostandarts ir pilnīgi jauns ne tikai Latvijā, bet arī Eiropā, jo līdz šim nav izstrādāti IEC, EN un LEK energostandarti par vīdsprieguma tīklu neitrāles darba režīmiem.

2. Atsauces uz normatīviem dokumentiem

Tālāk tekstā norādītie normatīvie dokumenti ir saistoši šī energostandarta lietošanai. Datētiem dokumentiem lietojama tikai to dotā redakcija. Nedatētiem dokumentiem lietojama to pēdējā redakcija (ietverot visus labojumus).

1. LEK 002 „Energoietašu tehniskā ekspluatācija” (3.izdevums)”.
2. LEK 048 „Elektroietašu zemēšana un elektrodrošības pasākumi. Galvenās tehniskās prasības”.
3. LVS EN 61936-1:2011 „Elektroietaises maiņspriegumam vīrs 1 kV. 1. daļa: Kopīgie noteikumi”.
4. LVS EN 50522:2011 „Maiņstrāvas elektroietašu ar nominālo spriegumu vīrs 1 kV zemēšana”.
5. „Pieskarsprieguma un pieļaujamās zemējuma kontūra izplūdpriestības noteikšana vīdsprieguma tīklā ar izolētu, kompensētu vai mazrezistīvi zemētu neitrāli.” Aprēķinu metodika pie Latvijas energostandarta LEK 136.

3. Energostandartā lietotie termini, to definīcijas un burtu apzīmējumi

3.1. Pamattermini

3.1.1. elektroiekārta – jebkura iekārta elektroenerģijas ražošanai, pārvadei, pārveidei, sadalei vai patēriņam, kas ietver elektriskās mašīnas, transformatorus, aparātus, mēraparātus, aizsardzības un automātikas ierīces, kabeļus, elektropatērētājus) (angliski **electrical equipment**);

3.1.2. elektroierīce – ierīce, kas veic tai paredzētās funkcijas, izmantojot elektrisko enerģiju, piemēram, elektriskā mērierīce, pusvadītāji, aizsardzības ierīce. Elektroierīce var būt citas ierīces elements (angliski **electrical device**);

3.1.3. nominālā vērtība – ar noteiktiem darbības apstākļiem saistīta elektroierīces vai elektroiekārtas raksturlieluma vērtība, kuru parasti nosaka izgatavotājs (angliski **nominal value; rated value**);

3.1.4. tīkla nominālais spriegums – sprieguma vērtība, kas ir pieņemta, lai noteiktu un apzīmētu tīkla elektroiekārtu un elektroierīču spriegumu (angliski **nominal value of system voltage**);

3.1.5. augstspriegums – šī energostandarta ietvaros maiņsprieguma elektroietaisies nominālais darba spriegums virs 1000 V vai līdzsprieguma elektroietaisies – nominālais darba spriegums virs 1500V (angliski **high voltage**);

3.1.6. vidspriegums - šī energostandarta ietvaros ar vidspriegumu saprot 6, 10 un 20 kV (angliski **middle voltage**);

3.1.7. zemspriegums – elektroenerģijas sadalē izmantojamie sprieguma nomināli, kuru vērtība maiņsprieguma tīklos nepārsniedz 1000V (angliski **low voltage**);

3.1.8. ekspluatācija – pasākumi, kuri tiek veikti elektroiekārtās, kā arī citās iekārtās un ir nepieciešami, lai nodrošinātu drošu un pareizu elektroiekārtu darbību. Dotie pasākumi ietver iekārtu komutāciju, darbības kontroli, režīmu vadību un uzturēšanas darbus (angliski **maintenance and operation**);

3.2. Elektroiekārtas un elektroierīces

3.2.1. Slēgta elektroiekārtu darbības zona – telpa vai vieta, kurā atrodas elektroiekārtas un piekļuve kurai ir atļauta šauram kvalificētu vai apmācītu darbinieku lokam vai citām personām kvalificētu vai apmācītu darbinieku uzraudzībā.

Piezīme: pie tādām zonām tiek pieskaitītas slēgtas jaudas slēdžu piedziņu un transformatoru ligzdas, sadales iekārtu ēkas, kā arī citas slēgtas telpas. Tādu telpu durvju atvēršana vai aizsargbarjeru noņemšana ir iespējama tikai izmantojot tam speciāli paredzētas atslēgas vai instrumentus - (angliski **closed electrical operating area**);

3.2.2. Apakšstacija – elektrotīkla sastāvdaļa, kas parasti sastāv no sadalietaisēm, pārveidotāji, transformatoriem, būvēm, pienākošo un aizejošo līniju ievadkonstrukcijām, aizsardzības un vadības ierīcēm. Atkarībā no elektroapgādes sistēmā izpildāmajām funkcijām izšķir transformatoru, pārveidotāju un citu veidu apakšstacijas (angliski **substation**);

3.2.3. Elektrostacija – energoietase, kas paredzēta elektroenerģijas ģenerēšanai. Tā ietver būves, galvenās iekārtas un palīgiekārtas, kas nepieciešamas elektroenerģijas ražošanai un pārveidošanai (angliski **power station**);

3.2.4. Lokdzēses zemētājreaktors (loka dzēšspole, kompensācijas spole vai reaktors, Petersena spole) – reaktors, kas paredzēts tīkla kapacitatīvās strāvas kompensācijai vienfāzes zemesslēguma gadījumā (angliski **arc –suppresion coil**);

3.2.5. Neitrāles transformators (trīsfāžu zemētājtransformators) – trīsfāžu transformators, kas paredzēts ieslēgšanai tīklā bez neitrāles izvada, lai radītu mākslīgu neitrālpunktu (angliski **Three phase earthing transformer**);

3.2.6. Sadales transformators – transformators, kas transformē vīdspriegumu uz zemspriegumu sadales tīklos (angliski **distribution transformer**);

3.2.7. Kompensējošais transformators – veic tradicionālā tīkla transformatora funkcijas un papildus kompensē līnijas zemesslēguma kapacitatīvo strāvu (angliski **distribution transformer with Petersen coil**);

3.2.8. Šunta zemētājreaktors – trīsfāžu neautomatizēts reaktors, paredzēts līnijas kapacitatīvās zemesslēguma strāvas kompensācijai (angliski **shunt earthing reactor**);

3.2.9. Neitrāles zemēšanas rezistors – rezistors, kas paredzēts neitrāles iezemēšanai rezistīvzemētas neitrāles tīklos (angliski **neutral earthing resistor**).

3.3. Zemēšana

3.3.1. Zeme – grunts elektrovadošā masa, kuras elektriskais potenciāls jebkurā punktā nosacīti pieņemts par nulli (angliski **earth**);

3.3.2. Lokāla zeme – zemes daļa, kurai ir elektriskais kontakts ar zemētājelektrodu un kuras elektriskais potenciāls ne vienmēr ir vienāds ar nulli (angliski **local earth**);

3.3.3. Etalonzeme (nullzeme) – vadītspējīga zemes daļa, kuras elektrisko potenciālu parasti pieņem vienādu ar nulli un kurā nav nevienas zemējumietāises (angliski **reference earth (remote earth)**);

3.3.4. Zemētājelektrods – strāvu vadošā daļa, kas atrodas noteiktā strāvu vadošā vidē, piemēram, gruntī, betonā un kuram ir elektriskais kontakts ar zemi (angliski **earth electrode**);

3.3.5. Zemētājs (zemējuma kontūrs) – elektrovadošu materiālu (apaļdzelzs, leņķdzelzs, plakandzelzs, cauruļu, un tml.) noteiktā kārtībā savienots kopums, kas atrodas zemē un veido ar to elektrisku kontaktu (angliski **earth electrodes**);

3.3.6. Zemējumvads – vadītājs, kas savieno elektroietaišu, elektroiekārtu vai ierīču noteiktas daļas ar zemējumietaisi (angliski **earth conductor**);

3.3.7. Zemējumietaise – elektroiekārtas zemēšanai nepieciešamo zemētājelektrodu, zemētāju un vadītāju kopums (angliski **earthing system**);

3.3.8. Stienzemētājs – zemētājs, kas izveidots zemē iedzīta metāla stienša veidā (angliski **earth rod**);

3.3.9. Zemes īpatpretstība – raksturīga zemes parauga īpatnējā elektriskā pretestība (angliski **electric resistivity of soil**);

3.3.10. Zemējumietais aktīvā pretestība – zemējumietais pilnās pretestības reālā daļa (angliski **resistance to earth**);

3.3.11. Zemējumietais pilnā pretestība – pilnā pretestība starp elektroietais vai elektroiekārtas zemesslēguma punktu un etalonzemi (angliski **impedance to earth**);

Piezīme: zemējumietais pilnā pretestība ietver zemētājelektrodu tiešo pretestību pret zemi, zemējumietasei elektriski pieslēgto kabeļu apvalku un ekrānu, kā arī metāla cauruļu, konstrukciju u.c. dabīgo zemētāju pretestību pret zemi, jāņem vērā arī ar PEN vadiem, kabeļu apvalkiem un tml. aplūkojamai zemējumietasei pieslēgto citu elektroiekārtu zemējumietaišu pretestība pret zemi.

3.3.12. Zemētāja izplūdpretestība – pretestība starp zemētāju un zemi.

3.3.13. Pieskarspriegums (efektīvais) – spriegums starp vienlaicīgi pieskarei pieejamām strāvvadošām daļām (angliski **(effective) touch voltage**);

Piezīme: Pieskarsprieguma vērtību var būtiski ietekmēt cilvēka vai dzīvnieka, kas ir pieskāries strāvvadošām daļām, ķermeņa pretestība.

3.3.14. Aplēses pieskarspriegums – spriegums starp vienlaicīgi pieskarei pieejamām strāvvadošām daļām laikā, kad cilvēks vai dzīvnieks tām nepieskaras (angliski **prospective touch voltage**);

3.3.15. Soļa spriegums – spriegums starp diviem zemes virsmas punktiem, attālums starp kuriem ir 1 m, kas nosacīti pieņemts par cilvēka soļa garumu (angliski **step voltage**);

3.3.16. Pārnestsais potenciāls – zemējumietais potenciāla pieauguma no zemesslēguma strāvas pārnese uz apgabalu ar zemu vai etalonzemes potenciālu (piemēram, ar kabeļu metāla apvalkiem, PEN vadiem, metāla caurulēm, dzelzceļa sliedēm), kas rada potenciālu starpību starp vadītājdaļu un tās apkārtni (angliski **transferred potential**);

Piezīme: definīcija attiecas arī uz potenciāla pārnesei pretējā virzienā, t.i., uz etalonzemē esošu vadītājdaļu, kuras otrs gals atrodas zemētājietais potenciāla pieauguma zonā;

3.3.17. Tīkla kopējā zemētājsistēma – ekvivalentais zemējuma kontūrs (sistēma), kuru veido savienojot atsevišķu elektroietaišu zemējuma kontūrus, un kas ir paredzēts lai nepieļautu bīstama pieskarsprieguma rašanos. Tīkla kopējais zemējuma kontūrs ļauj sadalīt zemesslēguma strāvu tādā veidā, ka tiek samazināta potenciālu starpība starp etalonzemi un atsevišķas elektroietaisas zemējuma kontūru (angliski **global earthing system**);

3.3.18. Aizsargneitrālvads (PEN vads) – zemēts vads, kas veic gan aizsargvada, gan neitrālvada funkcijas (angliski **protective earthing conductor (PEN conductor)**);

3.3.19. Zemesslēgums – strāvvadošas daļas savienojums ar zemi (zemētām metāla daļām) vai izolācijas pretestības ievērojams samazinājums attiecībā pret zemi (angliski **earth fault**);

3.3.20. Divkāršais zemesslēgums – zemesslēgums, kura laikā vienas sistēmas dažādās vietās ar zemi tiek savienotas divas dažādas fāzes (angliski **double earth fault**);

3.3.21. Intermitējošs bojājums – pārejošs bojājums, kas tajā pašā vietā un tā pašā cēloņa dēļ pēc maza brīža atkārtojas (angliski **intermittent fault**).

3.4. Elektrotīkla neitrāles darba režīmi

3.4.1. Darba zemējums – paredzēts elektroiekārtu vai elektrotīkla normālu darba apstākļu radīšanai, piemēram, transformatoru, ģeneratoru neitrāļu un lokdzēses zemētājreaktoru iezemēšanai (angliski **neutral earthing**);

3.4.2. Aizsargzemējums – paredzēts elektroiekārtu visu metālisku daļu iezemēšanai, kas normāli neatrodas zem sprieguma, bet izolācijas bojājuma dēļ var nokļūt zem sprieguma (angliski **protective earthing**);

3.4.3. Izolētas neitrāles tīkls – elektrotīkls, kurā nevienas galvenās iekārtas (ģeneratora, transformatora) neitrāle nav savienota ar zemi. Izņēmums ir aizsardzības un mērierīces, kas var būt zemētas caur lielas pretestības elementu (angliski **isolated neutral system**);

3.4.4. Kompensētas (lielinduktīvas) neitrāles tīkls – elektrotīkls, kurā vienas vai vairāku galveno iekārtu (parasti transformatoru) neitrāles zemētas caur indukcijas spoli, lai caur to plūstošās strāvas induktīvā komponente pie sistēmas darba frekvences kompensētu zemesslēguma strāvas kapacitatīvo komponenti (angliski **compensated neutral system**). Šo spoli sauc par **lokdzēses zemētājreaktoru** (skat. p.3.2.4.);

3.4.5. Kompensētas neitrāles tīkls ar papildrezistoru neitrālē – kompensētas neitrāles tīkls, kurā lokdzēses zemētājreaktora sekundāram tinumam īslaicīgi vai pastāvīgi pieslēgts papildrezistors, kas kalpo, lai kompensētas neitrāles tīklā samazinātu neitrāles nobīdes spriegumu, palielinātu zemesslēguma strāvas aktīvo komponenti un līdz ar to zemesslēgumaizsardzības jutību, kā arī lai samazinātu iespējamus pārspriegumus intermitējoša loka gadījumā (angliski **system with resonant and low resistance neutral earthing**);

3.4.6. Mazresistīvas (mazresistīvmētas) neitrāles tīkls – tīkls, kurā vismaz viena transformatora vai ģeneratora neitrāle ir zemēta caur mazomīgu rezistoru (neitrāles rezistoru). Rezistora pretestība tiek izvēlēta tā, lai zemesslēguma gadījumā jebkura tīkla vietā zemesslēguma strāva droši pārsniegtu relejaizsardzības atslēgšanas strāvas

iestatīto vērtību, bet būtu mazāka par kādu no drošības apsvērumiem izvēlētu vērtību, piemēram 1000A (angliski **system with low resistance neutral earthing**);

3.4.7. Mazinduktīvas (mazinduktīvzemētas) neitrāles tīkls – tīkls, kurā neitrāles transformatora (p.3.2.5) vietā lieto trīsfāžu induktivitāti zigzag slēgumā. Tās induktīvā pretestība samazina vienfāzes zemesslēguma strāvu analogiski neitrāles rezistoram (p.3.2.9.) (angliski **system with low-inductance neutral earthing**);

3.4.8. Pilnīgi kompensētas neitrāles tīkls – tīkls, kurā papildus kapacitātvai strāvai kompensē arī zemesslēguma strāvas aktīvo komponenti. Šādu neitrāli izstrādātājfīrmas vārdā sauc arī par zviedru neitrāli (angliski **Swedish Neutral**).

Pilnīgi kompensētu neitrāli rekomendē lietot vīdsprieguma jauktos gaisvadu – kabeļu tīklos ;

3.4.9. Lielrezistīvas neitrāles tīkls – teitrāle zemēta ar aktīvu rezistoru, kura pretestība aptuveni vienāda ar tīkla summāro kapacitātvu pretestību pret zemi, lai novērstu intermitējošu loku zemesslēguma vietā un samazinātu pārspriegumu tīklā (angliski **high resistance neutral earthing**);

No minētiem vīdsprieguma tīklu neitrāles darba režīmiem Latvijā lieto izolētu, kompensētu vai mazrezistīvu neitrāli, tādēļ šajā energostandartā citi neitrāles režīmi nav aplūkoti.

3.5. Strāvas, spriegumi un pretestības zemesslēguma gadījumā

3.5.1. Zemesslēguma strāva I_F – strāva, kas izolācijas bojājuma gadījumā plūst no spriegumaktīva vadītāja uz zemi un/vai zemētu elektroiekārtas daļu zemesslēguma vietā (angliski **earth fault current**).

Atkarībā no tīkla neitrāles darba režīma, vienfāzes zemesslēguma strāvas raksturs ir:

- kapacitātvā zemesslēguma strāva, izolētas neitrāles tīklā;
- paliekošā zemesslēguma strāva, kompensētas neitrāles tīklā;
- zemes īsslēguma strāva, mazrezistīvas neitrāles tīklā.

3.5.2. Strāva zemējumietaisē I_E – strāva, kas izolācijas bojājuma gadījumā plūst no spriegumaktīva vadītāja uz zemi konkrētajā bojājuma vietā (angliski **current to earth**).

Piezīme: Zemējumietaisē (kontūra) strāva ir zemesslēguma strāvas I_F sastāvdaļa un nosaka sprieguma kritumu zemējuma kontūrā.

3.5.3. Samazinājuma koeficients r – trīsfāžu līnijās ir vienāds ar zemējuma kontūra strāvas attiecību pret bojātās līnijas visu fāžu summāro nullsecības strāvu, kas plūst tālu no bojājuma vietas un zemējuma kontūra atrašanās vietas

($r=I_E/3I_0$) (angliski **reduction factor**). Vidsprieguma tīklā samazinājuma koeficients $r=I_E/I_F$.

3.5.4. Strāva transformatora neitrālē I_N – zemesslēguma strāvas daļa, kas plūst atpakaļ uz transformatora neitrāli caur zemējuma kontūru un citām metāliskām daļām (angliski **Current via neutral earthing of the transformer**).

Sadales transformatora neitrālē vīdsprieguma pusē zemesslēguma strāva neplūst, jo neitrāle nav izvadīta vai tās nav.

3.5.5. Kabelis ar zemētājelektroda efektu – kabelis, kura apvalkam, ekrānam vai bruņām piemīt tāds pats zemēšanas efekts, kā lentveida zemētājelektrodam (angliski **Cable with earth electrode effect**);

3.5.6. Zemes virsmas potenciāls ϕ – potenciālu starpība starp zemes virsmas noteiktu punktu un etalonzemi (angliski **Earth surface potential**);

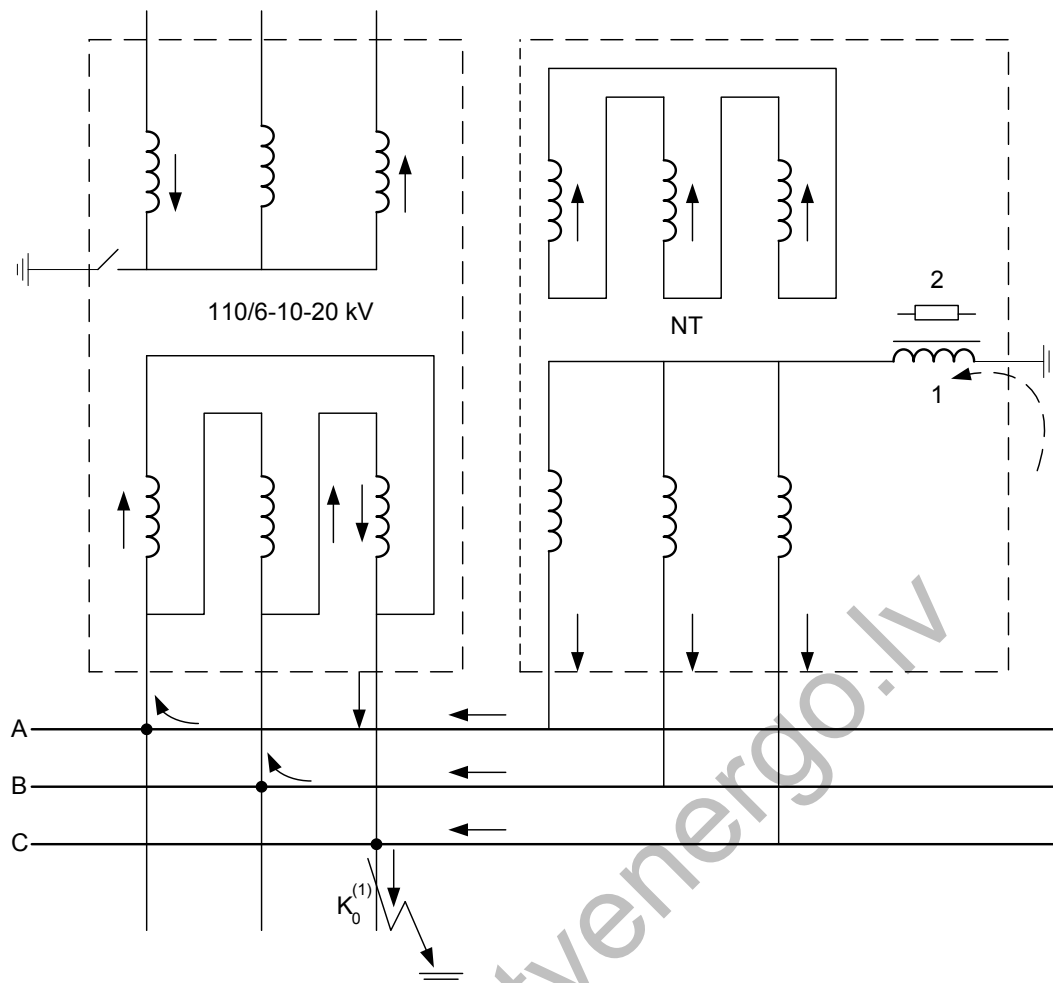
3.5.7. Neitrāles nesimetrijas spriegums – izolētas neitrāles tīkla neitrāles potenciāls pret zemi normālā režīmā (angliski **Neutral point potential**);

3.5.8. Neitrāles nobīdes spriegums – kompensētas neitrāles tīkla neitrāles potenciāls pret zemi normālā režīmā (angliski **System with arc suppression coil neutral point potential**).

4. Tīkla neitrāles izveidošana

4.1. Sadales tīklu barojošā 110 kV transformatora tinumi vīdsprieguma pusē bieži ir slēgti trīsstūra slēgumā, t.i., tīklam nav fiziskas neitrāles. Tādā gadījumā neitrāli veido ar speciāla neitrāles transformatora (NT) palīdzību (4.1. att.). Neitrāles transformatoram jābūt ar mazu nullsecības pretestību, tāpēc tiem izmanto zvaigznes-trīsstūra vai zig-zag slēguma shēmas, pēdējā gadījumā bez sekundārā tinuma. NT zemesslēguma strāvas sadalās un katrā tā fāzē plūst 1/3 daļa no zemesslēguma strāvas (nullsecības strāva). Tāpēc NT trīsfāžu jauda ir vienāda ar lokdzēses zemētājreaktora vai neitrāles zemēšanas rezistora jaudu.

4.2. NT un neitrāles zemēšanas rezistora (mazrezistīvas neitrāles tīklos), kā arī neitrāles papildrezistora (kompensētas neitrāles tīklos ar papildrezistoru neitrālē) termisko izturību pārbauda īslaicīgam darba režīmam, kā arī rezistoriem uzstāda strāvas un/vai temperatūras relejaizsardzību.



4.1. attēls. Strāvu sadalījums vienfāzes zemesslēguma gadījumā, ja neitrāli veido ar neitrāles transformatoru NT: 1 – induktivitāte vai 2 - rezistors

5. Rekomendācijas tīkla neitrāles darba režīma izvēlei

5.1. Izolētas neitrāles tīkli

5.1.1. Izolētas neitrāles tīkls vēsturiski radās vispirms un izolētas neitrāles darba režīmu joprojām lieto nelielos 20 kV gaisvadu tīklos ar mazām kapacitatīvām zemesslēguma strāvām, retāk 6-10 kV kabeļtīklos, jo kabeļu kapacitāte pret zemi ir apm. 30 - 60 reizes lielāka nekā gaisvadiem.

Izolētas neitrāles tīklu rekomendē arī augstsprieguma dzinēju un pašpatēriņa tīklu barošanai elektrostacijās.

5.1.2. Izolētas neitrāles tīklu var vienkārši un salīdzinoši lēti realizēt, jo nav vajadzīgas speciālas neitrāles zemēšanas iekārtas, strāvmaiņus un starpfāžu īslēgumaizsardzību var ierīkot pat tikai 2 fāzēs; tīkls ar zemesslēgumu var palikt zināmu laiku darbā līdz bojājuma vietas noteikšanai, kas jāizdara iespējami īsā laikā, nepārsniedzot 8h.

5.1.3. Ja zemesslēguma strāva nepārsniedz noteiktu vērtību (skat. p.5.2.1.), notiek pārejošo zemesslēgumu pašlikvidēšanās gaisvadu līnijās un sadalnēs. Bojājumi kabeļos, savienojošās uzdevās un gala apdarēs paši nelikvidējās.

5.1.4. Zemesslēguma vietas meklēšana jāsāk nekavējoties un zemesslēgums jānovērš iespējami īsā laikā, lai samazinātu zemesslēguma pārejas varbūtību starpfāžu īsslēgumā un /vai divkāršos zemesslēgumos ar divu vai vairāku vīdsprieguma līniju vienlaicīgu atslēgšanos.

5.1.5. Kabeļtīklos ar veciem pavājinātās izolācijas kabeļiem, kur lielāka varbūtība zemesslēguma pārejai divkāršā zemesslēgumā rekomendē lietot jau pirmā zemesslēguma automātisku atslēgšanu, kas novērš divu vai vairāku līniju vienlaicīgu atslēgšanos.

5.1.6. Augstsprieguma elektrodzinējiem pret zemesslēgumiem statora tinumos jāuzstāda momentānas darbības nullsecības zemesslēgumaizsardzība ar nostrādes strāvu 5-10 A (atkarībā no dzinēja jaudas).

5.2. Kompensētas neitrāles tīkli

5.2.1. Zemesslēguma strāvai jābūt kompensētai, ja tā pārsniedz vērtību, virs kuras izolētas neitrāles tīklā nenotiek ārējo zemesslēgumu pašlikvidēšanās:

Tabula 5.1.

Zemesslēguma strāvu vērtības

Tīkla spriegums, kV	6	10	20
Zemesslēguma strāva, A	35	30	20

5.2.2. Kompensētos tīklos lokdzēses zemētājreaktors veic trīs svarīgas funkcijas:

- **kompensācijas funkciju**, t.i., kompensē tīkla kapacitatīvo zemesslēguma strāvu. Ja reaktora induktivitāte L ieregulēta rezonansē ar tīkla kopējo kapacitāti pret zemi C , tad bojājuma vietā plūst tikai zemesslēguma strāvas aktīvā komponente (2-8%) , kā arī augstākās harmonikas. Nelielā strāva veicina pārejošu zemesslēgumu pašlikvidēšanos gaisvados un sadalnēs kā arī paildzina bojājuma vietas izdegšanu kabeļos, kas palielina iespēju ar operatīviem pārslēgumiem atslēgt bojāto posmu;
- **lokdzēses funkciju**, t.i., palēnina sprieguma atjaunošanos pēc loka nodzišanas zemesslēguma vietā. Tāpēc bojātās fāzes izolācija pret zemi bojājuma vietā pagūst atjaunoties un loks no jauna neaizdegas. Tā pārejošie zemesslēgumi likvidējas gaisvadu līnijās un sadalietaisēs. Kabeļu

iekšējo zemesslēgumu gadījumā caursistā izolācija neatjaunojās pilnā mērā, tāpēc kompensēta neitrāle šajā aspektā kabeļtīklos ir mazefektīva;

- **elektrodrošības uzlabošanas funkciju**, t.i., maza kompensētā zemesslēguma strāva, plūstot pa zemējumietaisi rada mazāku pieskarspriegumu. Otrs elektrodrošības paaugstināšanas paņēmieni – zemējumietais pretestības samazināšana bieži vien ir dārgāks par kompensāciju.

5.2.3. Kompensētu neitrāli rekomendē gaisvadu tīklos un jauktos kabeļu – gaisvadu tīklos, retāk kabeļtīklos. Zemesslēguma vietas meklēšana jāsāk nekavējotī un zemesslēgums jānovērš iespējami īsā laikā, bet ne ilgāk kā 8h. Ja ir paaugstināta divkārtšo zemesslēgumu varbūtība, piemēram, veci kabeļi ar pavājinātu izolāciju, nedrošas kabeļu galu apdares, tad zemesslēgumu rekomendē ātri automātiski atslēgt.

5.2.4. Kapacitatīvo zemesslēguma strāvu kompensācijai tīklā jālieto lokdzēses zemētājreaktori ar automātisku regulēšanu.

Tīkla kapacitatīvā strāva jāmēra vai jāreķina pirms zemētājreaktora uzstādīšanas, vai ja ievērojami izmainās tīkla kapacitāte, bet ne retāk kā reizi 4 gados[1].

Atļauts uz vīdsprieguma līnijām uzstādīt to kapacitatīvo zemesslēguma strāvu kompensējošos transformatorus vai šunta zemētājreaktorus. To induktivitāti izvēlas tā, lai kompensētu attiecīgās līnijas kapacitāti.

5.2.5. Lokdzēses zemētājreaktoru jaudu un pieslēgšanas shēmu projektējot izvēlas atkarībā no tīkla kapacitatīvās strāvas, ņemot vērā tīkla attīstības perspektīvas un remonta režīmus. Zemētājreaktora jaudas rezervei jābūt paredzētai ne mazākai par 35%.

Zemētājreaktoru pieslēgšanai jāizmanto neitrāles transformatori ar tinuma slēguma shēmu zvaigzne – trīsstūris vai zig-zag .

5.2.6. Zemētājreaktori neitrāles transformatoru vai ģeneratoru neitrālei jāpieslēdz ar atdalītāju. Neitrāles transformatora pieslēgšana vīdsprieguma tīklam ar kūstošiem drošinātājiem nav pieļaujama.

5.2.7. Zemētājreaktoru rekomendē noskaņot rezonansē ar tīkla kapacitāti.

Pieļaujama zemētājreaktora ieregulēšana pārkompensācijas režīmā, ja zemesslēguma strāvas reaktīvās komponentes izskaņojums nepārsniedz 5%. Pieļaujama ieregulēšana ar nepilnīgu kompensāciju kabeļu un gaisvadu tīklos ar nosacījumu, ka avārijas gadījumos (piemēram, pārtrūkstot kādam vadam vai izdegot drošinātājam) fāžu kapacitāšu nesimetrija neizraisa neitrāles nobīdi lielāku par 70% no fāzes sprieguma.

5.2.8. Kompensētas neitrāles tīklā nesimetrijas spriegums pie atslēgtas kompensācijas iekārtas nedrīkst pārsniegt 0,75% no fāzes sprieguma. Ja tīklā nav zemesslēguma, neitrāles nobīdes spriegums ilgstoši nedrīkst pārsniegt 15% no fāzes sprieguma un īslaicīgi līdz 1 stundai – 30% no fāzes sprieguma.

Sprieguma nesimetrijas un neitrāles nobīdes samazināšana līdz norādītām vērtībām jāpanāk izlīdzinot fāžu kapacitātes pret zemi (ar līnijas fāžu vadu transpozīciju), vai ar neitrāles papildrezistoru (p.5.3.3).

Nerekomendē gaisvadu vai kabeļlīniju ieslēgšanu vai atslēgšanu pa fāzēm, ja tie izraisīts neitrāles nobīdes spriegums lielāks par pieļaujamo (p.5.2.7).

5.2.9. Ja kāda no kompensācijas spolēm tiek atslēgta, tad līniju zemesslēguma relejaizsardzības rekomendē pārslēgt darbam uz līnijas momentānu atslēgšanu, nepieciešamības gadījumā pat neselektīvi.

5.3. Kompensētas neitrāles tīkli ar papildrezistoru neitrālē

5.3.1. Papildrezistors neitrālē veic šādas funkcijas:

- tīkla normālā darbā samazina tīkla neitrāles nobīdes spriegumu;
- pieslēdzot papildrezistoru zemesslēguma režīmā uz dažām sekundēm (piemēram 3s) palielina zemesslēguma strāvas aktīvo komponenti, kas uzlabo relejaizsardzības selektivitāti un jutību;
- nodrošina zemesslēguma strāvas indikatoru darbību bojājuma vietas noteikšanai;
- samazina zemesslēguma pārejas procesa pārspriegumu.

5.3.2. Parasti šādu neitrāli veido ar lokdzēses zemētājreaktoru, kura īpašā sekundārā tinumā ar 500V spriegumu ieslēgts papildrezistors. Papildrezistors var būt pieslēgts pastāvīgi normālā režīmā un to atslēdz, parādoties zemesslēgumam, vai to pieslēdz īslaicīgi pēc bojājuma parādīšanās tīklā.

5.3.3. Papildrezistoru rekomendē pieslēgt pastāvīgi normālā darba režīmā kompensētos nesimetriskos gaisvadu un jauktos gaisvadu – kabeļu tīklos ar palielinātu neitrāles nobīdes spriegumu. Normālā režīmā papildrezistors, kura jauda ir 10% no reaktora jaudas samazina neitrāles nobīdes spriegumu par apm. 30%. Kabeļtīklos to simetrijas dēļ papildrezistors normālā režīmā ir atslēgts, vai to vispār nelieto.

5.3.4. Papildrezistoru pieslēdz kompensētos tīklos īslaicīgi, lai nepārejošu zemesslēgumu gadījumā nodrošinātu nullsecības strāvas indikatoru un releju nostrādi uz bojātās līnijas. Jāpiezīmē, ka zemesslēguma strāva bojātā līnijā kompensētos tīklos bieži ir mazāka kā nebojātās līnijās un nav iespējams izvēlēties nullsecības strāvas indikatoru iestatījumus.

5.3.5. Ja kompensētas neitrāles tīklā nav nepieciešama funkciju p.5.3.1. realizācija, tad papildrezistoru var neuzstādīt.

5.4. Mazrezistīvas neitrāles tīkli

5.4.1. Mazrezistīvu neitrāli rekomendē lietot pilsētu vīdsprieguma (6-20 kV) kabeļtīklos ar paaugstinātu divkāŗšo zemesslēgumu varbūtību un kopēju zemējumsistēmu (zemējumkontūru), kam ir ļoti maza pretestība pret zemi.

5.4.2. Mazomīga neitrāles rezistora, kas savieno transformatora neitrāli ar zemējuma kontūru, pretestības vērtību izvēlās tā, lai zemesslēguma strāva jebkurā tīkla punktā būtu pietiekoši liela strāvas relejaizsardzības (parasti nullsecības strāvas) nostrādei, kas atslēgtu zemesslēgumu un novērstu divkāŗša zemesslēguma iespējamību. Zemesslēguma strāvas aplēses (maksimālā) vērtība – 1000 A [4], bet vēlams to samazināt, lai neradītu uz kopējās zemējumietaisies pretestības nepieļaujami lielu pieskarspriegumu (norma 80V ilgstošā režīmā [4]).

5.4.3. Mazomīga neitrāles rezistora vietā var lietot mazu induktivitāti (mazinduktīvas neitrāles tīkls). Mazinduktīvas neitrāles gadījumā atsevišķs elements (induktivitāte) neitrālē nav vajadzīga – neitrāles transformatoru izveido ar vajadzīgā lieluma nullsecības pretestību.

5.4.4. Kopējās zemējumsistēmas ļoti mazu pretestību un pietiekami mazu pieskarspriegumu nodrošina:

- vīdsprieguma kabeļu metāla apvalki un ekrāni, jo pa tiem ap 85% zemesslēguma strāvas atgriežas barojošā apakšstacijā, neizsaucot pieskarspriegumu uz zemējumietaisies;
- tīkla transformatoru zemējumietaisies paralēli savienojošie 0,4 kV maģistrālo kabeļu PEN vadi un metāla apvalki, kas 0,4 kV līniju dalījuma vietās netiek pārtraukti;
- zemējumietaisies savieno ar dabīgiem zemētājiem;
- zemētājus un zemējumvadus izvēlās atbilstoši [2; 4].

5.4.5. Ja sadales transformatorus pieslēdz vīdsprieguma gaisvadu līnijām, vai kabeļlīnijās ir gaisvadu posmi, ja ne visas 0,4 kV līnijas ir maģistrālās, kas paralēli saslēdz zemējumietaisies, kā arī ja zemējumietaišu skaits ir neliels, tad zemesslēguma strāva atgriežas barojošā apakšstacijā galvenokārt pa zemi un uz tīkla transformatora zemējumietaisies parādās liels pieskarspriegums. Šādi gadījumi raksturīgi pilsētu nomalēm un lauku tīkliem, kur bez p.5.4.6.minētiem papildpasākumiem nedrīkst lietot mazrezistīvu neitrāli.

5.4.6. Vispirms pēc metodikas [5] izrēķina spriegumu uz sadales transformatora zemējumietaisies, kas ļauj novērtēt pieskarsprieguma vērtību zemesslēguma gadījumā. Ja pieskarspriegums pārsniedz pieļaujamo vērtību, kas atkarīga no zemesslēguma ilguma un ir ierobežojumi kompensētas neitrāles lietošanai, piemēram, bieži divkāŗšie zemesslēgumi, tad pieskarspriegumu var samazināt:

- ja izbūvē katrai sadales transformatoru apakšstacijai 2 galvaniski nesaistītas zemējumietaisies, vienu vīdsprieguma iekārtu drošības

zemēšanai, otru vismaz 20m attālinātu 0.4 kV neitrāles iezemēšanai ar pretestību ne lielāku par 4 Omi [2];

- ja transformatoru apakšstaciju baro pa vīdsprieguma kabeļlīniju, tad kabeļa metāla apvalku un kailo dzīslu, ja tāda ir, pievieno vīdsprieguma zemējumietasei, lai zemesslēguma strāva varētu atgriezties barojošā apakšstacijā, apejot zemējumietasi;
- ja transformatoru apakšstaciju baro pa vīdsprieguma gaisvadu līniju, tad līniju vai tās gaisvadu posmu iepriekš minēto apsvērumu dēļ izbūvē ar 4 vadiem.

6. Rekomendācijas zemesslēgumu relejaizsardzības veidu, iestatījumu izvēlei un bojājuma vietas atrašanai

6.1. Izolētas vai kompensētas neitrāles elektrotīklos rekomendē uzstādīt nullsecības virzīto zemesslēguma relejaizsardzību, pievadot līnijas nullsecības strāvu un tīkla nullsecības spriegumu.

Nullsecības strāvu pievada no kabeļu nullsecības strāvmaiņiem (feranti) vai iegūst no triju fāžu strāvmaiņu grupas, matemātiski vai elektriski summējot fāžu strāvas. Nullsecības spriegumu iegūst no triju vienfāzes spriegummaiņu grupas.

6.2. Nevirzītu nullsecības strāvas aizsardzību kompensētas neitrāles tīklos principā nevar lietot, jo bojātās līnijas nullsecības strāva (paliekošā strāva) bieži ir mazāka par nebojātās līnijas zemesslēguma strāvu. Izolētas neitrāles tīklā principā var lietot nevirzītu nullsecības strāvas aizsardzību, taču arī šeit rekomendē lietot virzītu nullsecības strāvas aizsardzību.

6.3. Izolētas vai kompensētas neitrāles tīklā jāuzstāda centrālā zemesslēguma signalizācija (tīkla izolācijas kontroles iekārta), kas signalizē par nullsecības sprieguma parādīšanos tīklā. Signalizācijas nostrādes spriegums – ap 0,15 no nominālā nullsecības sprieguma, laika aizture – ap 9 s.

6.4. Zemesslēguma aizsardzības jāuzstāda rekonstruējamās un jaunbūvējamās sadalietaisēs, kas komplektētas ar attiecīgām aizsardzības iekārtām. Kabeļtīklos tās strādā uz atslēgšanu (lai izvairītos no divkāršiem zemesslēgumiem), fiksē bojāto līniju un atvieglo zemesslēguma vietas noteikšanu. Gaisvadu un jauktos gaisvadu – kabeļu tīklos ar nelielu kabeļu īpatsvaru līnijā zemesslēguma aizsardzība uz līnijas strādā pēc viena no šādiem algoritmiem:

6.4.1. uz signālu, ja uz līnijas nav zemesslēguma strāvas indikatori, un bojāto līniju atstāj darbā zem sprieguma, lai atrastu zemesslēguma vietu pēc p.6.5.2.;

6.4.2. uz atslēgšanu, ja uz līnijas ir pietiekošs skaits zemesslēguma strāvas indikatori (katrā trešā apakšstacijā (a/st), a/st ar vairāk kā 2 vīdsprieguma līnijām, kā arī a/st ar vīdsprieguma kompaktsadalnēm) un līnijas bojāto posmu nosaka pēc indikatoru rādījumiem.

6.5. Ja līnija ar zemesslēgumu paliek darbā zem sprieguma, (skat. p.6.4.1. jeb līnijām nav uzstādītas zemesslēguma aizsardzības), tad bojāto līniju un līnijas bojāto posmu nosaka sekojoši:

6.5.1. Līnijā uzstāda nullsecības strāvas indikatorus, kuru nostrādi zemesslēguma gadījumā nodrošina īslaicīga neitrāles papildrezistora pieslēgšana (kompensētas neitrāles tīkls ar papildrezistoru neitrālē);

6.5.2. Kabeļtīklos bojāto līniju nosaka ar pārnesamu augstāko harmoniku filtrinstrumentu, to nevīlcinoties pēc kārtas pieslēdzot visu no sadalnes atejošo līniju nullsecības strāvmaiņiem (feranti). Bojātā ir līnija ar lielāko augstāko harmoniku līmeni. Tālāk tīklā, kur nav uzstādīti nullsecības strāvmaiņi, lieto mērķnaibles ar augstāko harmoniku līmeņa indikatoru. Bojātās līnijas bojātai fāzei līdz zemesslēguma vietai ir lielāks augstāko harmoniku līmenis. Ja tīkla kompaktiekārtu gabarīti apgrūrina darbu ar mērķnaiblēm, savlaicīgi jāuzstāda indikatori vai kabeļu nullsecības strāvmaiņi;

6.5.3. Gaisvadu līnijās lieto pārnesamu zemesslēguma virziena uzrādītāju, kas nosaka augstāko harmoniku līmeni līnijas nullsecības strāvā;

6.5.4. Nerekomendē tīkla bojāto posmu noteikt pēc kārtas atslēdzot vīdsprieguma līnijas.

6.6. Izolētas vai kompensētas neitrāles tīklos jāpārbauda kabeļu metāla apvalku un ekrānu termiskā izturība uz divkārtšo zemesslēgumu aprēķina strāvu, par kuru uzskata 0,9 no maksimālās divfāžu īsslēguma strāvas.

6.7. Mazresistīvas neitrāles tīklā līniju ar zemesslēgumu (zemesīsslēgumu) jāatslēdz iespējami ātri, bet selektīvi, lai samērā lielā zemesīsslēguma strāva neradītu kabeļu metāla apvalkiem (ekrāniem) termiskās izturības problēmas.

6.8. Mazresistīvas neitrāles tīklā zemesslēguma aizsardzībai rekomendē lietot nevīrītās darbības nullsecības strāvas aizsardzības. Aizsardzības nostrādes strāva jāatregulē no līnijas vislielākās kapacitatīvās zemesslēguma strāvas aplēses režīmā (tīkla remonta vai pēcavārijas režīms ar vislielāko līnijas garumu), ievērojot zemesslēguma pārejas procesa strāvas. Šādas aizsardzības nostrādes strāva nav jāatregulē no līnijas slodzes strāvas.

6.9. Zemesslēguma relejaizsardzības jāuzstāda uz katras līnijas tās aizsardzībai, uz tīklu barojošā 110 kV transformatora pret zemesslēgumu apakšstacijas vīdsprieguma kopņu zonā un uz blokā ar barojošo transformatoru pieslēgto neitrāles transformatoru ar rezistoru to aizsardzībai. Rekomendē šīs daudzpakāpju aizsardzības papildināt ar:

6.9.1. momentānās darbības pakāpi ar nostrādes strāvu robežās 1200 -1500 A pret divkārtšiem zemesslēgumiem;

6.9.2. uz atejošām līnijām – pakāpi pret intermitējošu loku, kas summē loka degšanas laikus un atslēdz līniju, ja šī summa noteiktā periodā pārsniedz iestatīto vērtību.

6.10. Barojošam transformatoram jāuzstāda diferenciālā aizsardzība ar speciālu funkciju, kas strādā uz nullsecības strāvu starpību caur neitrāles rezistoru un transformatora pievienojumu vīdsprieguma kopnēm. Speciālā funkcija bloķē transformatora diferenciālo aizsardzību, ja zemesslēgums ir tīklā, bet atslēdz transformatoru, ja zemesslēgums ir tā zonā.

6.11. Bojājuma vietas noteikšanai pēc bojātās līnijas atslēgšanās tīklā jāuzstāda nullsecības strāvas indikatori (p.6.4.2.), kuru nostrādes strāva ir mazāka par līniju zemesslēguma aizsardzību nostrādes strāvu ar automātisku atgriešanos pēc noteikta laika vai sprieguma atjaunošanās līnijā.

6.12. Ja blakus mazrezistīvas neitrāles tīklam ir kompensētas neitrāles tīkls, tad indikatori jāuzstāda tajā kompensēta tīkla daļā, kas var tikt pieslēgta mazrezistīvas neitrāles tīklam.

6.13. Uz operatīvo pārslēgumu laiku var īslaicīgi (ne ilgāk par 0,5 h) saslēgt paralēli vīdsprieguma tīklus ar vienādiem vai dažādiem neitrāles režīmiem, ja ievērots p.6.10.

7. Pieskarspriegumu, zemētāju izplūdpresetību un zemējumietaišu pilno presetību vērtību normēšana

7.1. Zemesslēguma gadījumā transformatoru apakšstacijā aplēses pieskarspriegums nedrīkst pārsniegt pieļaujamo vērtību, kas ir atkarīga no zemesslēguma ilguma (7.3. att.)[4]. Šo noteikumu aprēķinu ceļā var pārbaudīt, aprēķinot potenciālu uz zemējumietaišes zemesslēguma laikā. Pieskarsprieguma vērtība obligāti jāpārbauda mazrezistīvas neitrāles tīklā pilsētas nomalēs, kur kopējā zemējuma sistēma var būt vāja un barojošā vīdsprieguma līnijā ir gaisvadu posmi.

7.2. Pieskarsprieguma iespaida samazināšanai rekomendē zemējumietaišes ievada zemē izolēšanu cilvēka auguma augstumā un izlīdzināšanas kontūra izbūvi ap ievadu zemē (potenciālu izlīdzināšanas sistēma pēc LEK048 [2]).

7.3. Zemes potenciāla pieaugumu U_E uz zemējumietaišes zemesslēguma laikā (zemētājspriegumu) 10-20/0,4 kV apakšstacijas zonā nosaka pēc 7.1. un 7.2. att.

7.4. Zemētāja izplūdpresetība vīdsprieguma elektroiekārtās nedrīkst pārsniegt 10 Omus, ja šī zemējumietaiše kalpo arī elektrotīklam līdz 1kV, tad tās pilnā presetība, ieskaitot dabīgos zemētājus, nedrīkst pārsniegt 4 Omus 400/230 V tīklam un 8 Omus 230/140 V tīklam.

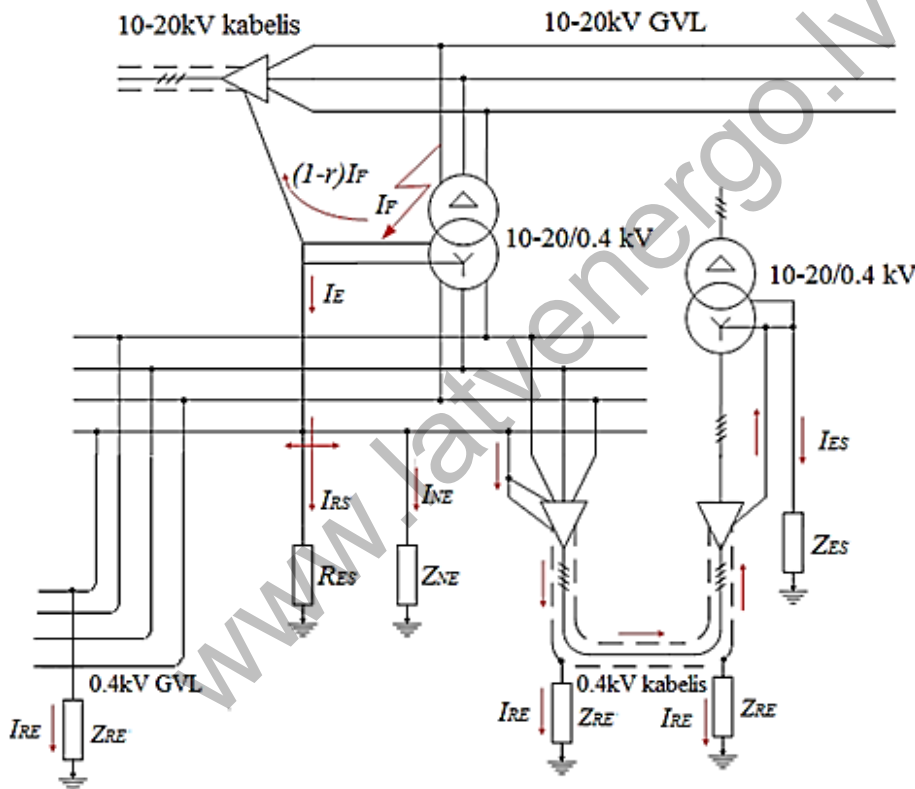
7.5. Ja vīdsprieguma transformatoru apakšstacijā uzstāda 2 neatkarīgas zemējumietaišes, tad elektrotīkla līdz 1 kV zemējumietaišes pilnā presetība nedrīkst pārsniegt 4 Omus 400/230 V tīklam un 8 Omus 230/140 V tīklam.

7.6. Elektrotīkla līdz 1 kV PEN vadu katra atkārtotā zemētāja izplūdpresetība nedrīkst pārsniegt 30Ω 400/230 V tīklam un 60Ω 230/140 V tīklam. Katras gaisvadu

līnijas līdz 1 kV atkārtoto zemētāju kopējā pretestība (ieskaitot dabiskos zemētājus) nedrīkst pārsniegt 10Ω 400/230 V tīklam un 20Ω 230/127 V tīklam.

7.7. Pieskarsprieguma aprēķinam zemesslēguma gadījumā kompensētas neitrāles tīklā sekcionējošu aparātu uzstādīšanas zonā aplēses strāvu var izvēlēties nevis pie visiem atslēgtiem kompensācijas reaktoriem (Tabula 5.1.), bet ievērojot „n-1” nosacījumu, tikai ar vienu (lielākās jaudas) atslēgtu kompensācijas reaktoru, ja:

- izpildīts p.5.2.9.;
- sekcionējošā aparāta zemējumietaisē nekalpo elektrotīklam līdz 1 kV;
- vīdsprieguma tīkla kapacitatīvā (aplēses) zemesslēguma strāva aplēses režīmā nepārsniedz 40A.



7.1. attēls. Strāvas, spriegumi un pretestības zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zonā

kur

I_F - zemesslēguma (ZS) strāva;

I_E - strāva zemējumietaisē;

R - samazinājuma koeficients;

I_{RS} - ZS strāvas daļa caur zemētāju;

I_{ES} - ZS strāvas daļa caur galvaniski saistītā blakus esošā sadales transformatora zemējumietaisi;

I_{RE} - ZS strāvas daļa caur galvaniski saistīto atkārtoto zemētāju;

R_{ES} - zemētāja izplūdpresetība;

Z_{ES} - galvaniski saistītā blakus esošā sadales transformatora zemējumietaises pilnā pretestība;

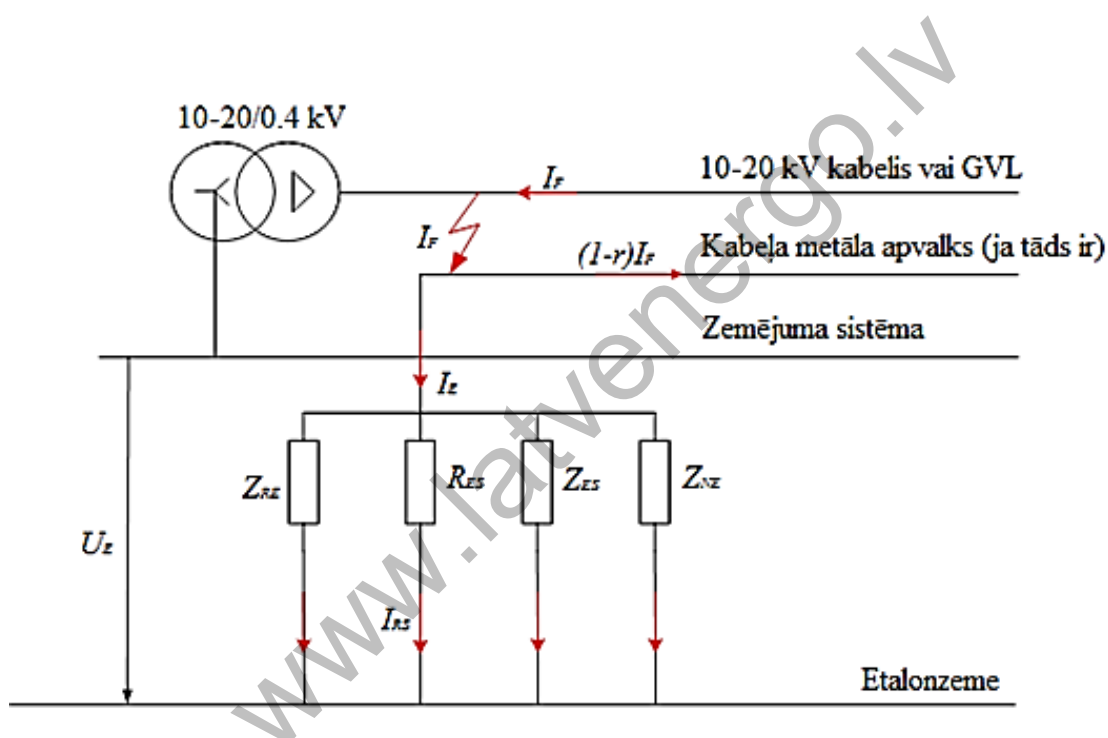
Z_{RE} - galvaniski saistītā atkārtotā zemētāja pilnā pretestība;

n - blakus esošo galvaniski saistīto sadales transformatoru skaits;

m - galvaniski saistīto atkārtoto zemētāju skaits;

I_{NE} - ZS strāvas daļa caur TA dabiskiem zemētājiem;

Z_{NE} - TA dabisko zemētāju pilnā pretestība.



$$I_E = r \cdot I_F$$

$$U_E = I_E \cdot Z_E$$

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + \frac{1}{Z_{NE}} + \sum^n \frac{1}{Z_{ES}} + \sum^m \frac{1}{Z_{RE}}}$$

7.2. attēls. Aizvietošanas shēma zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zonā

kur

U_E - zemētājspriegums (potenciāla pieaugums uz zemējumietaises)

Z_E - zemējumietais pilnā pretestība

U_{TP} - pieļaujamais pieskarspriegums

Pieskarspriegums sadales transformatoru apakšstacijā ir pieļaujams, ja izpildās noteikums

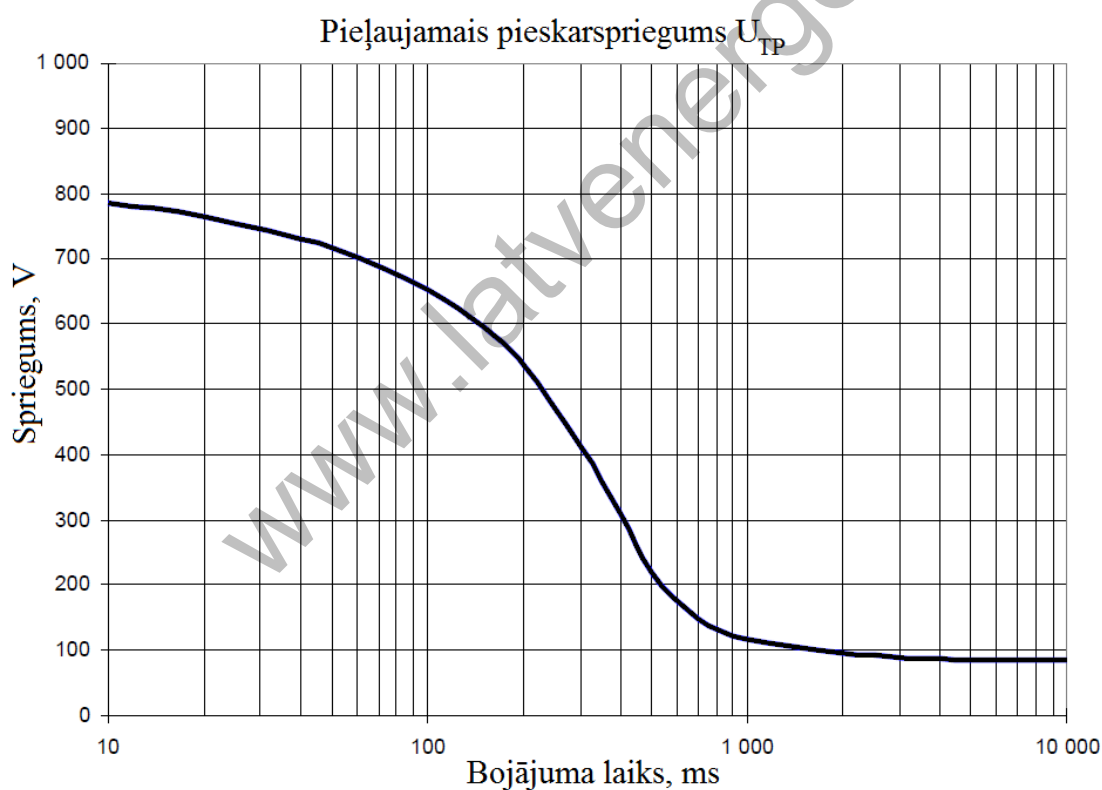
$$U_E < 2U_{TP},$$

kur

U_{TP} – pieskarsprieguma pieļaujamā vērtība (7.3. att.).

Ja pieskarsprieguma samazināšanai vīdsprieguma sadalietaisē un zemējumietaisē lietoti speciāli pasākumi M , kas aprakstīti standarta LVS EN 50522:2011 pielikumā E , tad pieskarspriegums ir pieļaujams, ja izpildās noteikums

$$U_E < 4U_{TP}$$



Piezīme: Līkne attiecas uz zemesslēgumiem augstsprieguma (vīdsprieguma) sistēmās. Ja strāva plūst ilgāk par 10 s, pieļaujamā sprieguma vērtība U_{TP} ir 80V.

7.3. attēls. Pieļaujamais pieskarspriegums atkarībā no bojājuma laika

7.8. Aplēses strāva un samazinājuma koeficients

Tabula 7.1.
Aplēses strāvas zemēšanas sistēmas un pieskarsprieguma aprēķinam

Izolētas neitrāles tīkls	$I_E = r \cdot I_C$
Kompensētas neitrāles tīkls ar kompensācijas reaktoriem	$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2}$
Mazrezistīvas neitrāles tīkls ar neitrāles zemējumu	$I_E = r \cdot I''_{k1}$

kur

I_C - kapacitatīvā zemesslēguma strāva;

I_{RES} - zemesslēguma paliekošā strāva. Ja tās aktīvās komponentes precīza vērtība nav zināma, var pieņemt $0,1I_C$. Ja kompensācija nav precīza, jāievēro arī paliekošās strāvas induktīvā/kapacitatīvā komponente;

I_L - iekārtas visu zemētājreaktoru nominālo strāvu summa;

I''_{k1} - vienfāzes zemesslēguma strāvas periodiskās komponentes sākuma vērtība elektroiekārtā.

Tabula 7.2.

Samazinājuma koeficienta $r = \frac{I_E}{I_F}$ vērtību diapazoni 10-20kV SA barojošām līnijām*

Vadītājs	r
Trīsfāžu gaisvadu līnijas bez zemējuma vada	1
Eļļas-papīra izolācijas vara kabeļi ar svina apvalku	0.2-0.6
Eļļas-papīra izolācijas alumīnija kabeļi ar alumīnija apvalku	0.2-0.3
Trīsfāžu vienvada XLPE kabeļi ar pītu vara ekrānu	0.5-0.6

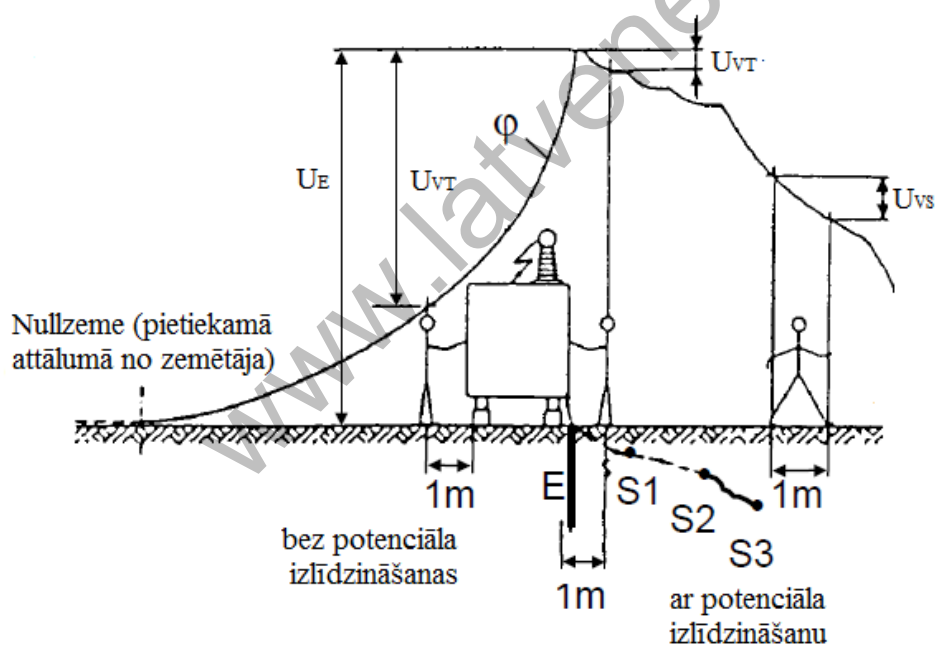
*Piezīme**: LVS EN50522:2011, Pielikums I [4]

Taču zemējumietaisies spriegumu un izplūdpriestības aprēķinu metodikā [5] izmantotas samazinājuma koeficienta r vidējās vērtības. Tāds vienkāršojums tikai nedaudz samazina aprēķina precizitāti, jo LVS EN50522 standartā r vērtības dotas tikai dažiem vīdsprieguma kabeļu tiptiem pie kam ar plašu izkliedi.

Pielikums 1**Aprēķinu metodika „Pieskarsprieguma un pieļaujamās zemējuma kontūra izplūdpresetības noteikšana vīdsprieguma tīklā ar izolētu, kompensētu vai mazrezistīvu zemētu neitrāli”****1. Problēmas nostādne**

Pieskarsprieguma un zemējuma kontūra (zemētāja) pieļaujamās izplūdpresetības noteikšana paredzēta energostandartā LEK 136 pēc vīdsprieguma tīkla neitrāles darba režīma izvēles, lai pārbaudītu tā pieļaujamību pēc minētajiem parametriem.

Pieskarsprieguma (P1.1. att.) vērtību nosaka elektroiekārtas zemējumietais pretestība, kuras sastāvdaļa ir zemētāja izplūdpresetība, kā arī zemesslēguma (ZS) strāvas vērtība caur zemējumietaisi un tās plūšanas ilgums. Savukārt ZS strāva atkarīga no vīdsprieguma tīkla neitrāles darba režīma, un tās daļa caur zemējumietaisi atkarīga no tīkla shēmas. Piemēram, vīdsprieguma kabelītīkla gadījumā atšķirībā no gaisvadu tīkla liela daļa no ZS strāvas neplūst caur zemējumietaisi, bet atgriežas barošanas centrā pa vīdsprieguma kabelītīnu metāla apvalkiem (kabeļiem ar plastmasas izolāciju - pītais vara vai alumīnija ekrāns vai centrālais vads, vecajiem eļļas kabeļiem - tērauda bruņa, svina bruņa), kas ievērojami samazina pieskarspriegumu.



P1.1. attēls. Zemes virsmas potenciāla sadalījums un pieskarspriegumi, zemesslēguma strāvai plūstot caur zemētāju: E – zemētājs; S1, S2, S3 – zemējumelektrodi potenciāla izlīdzināšanai, savienoti ar zemētāju E; ϕ – zemes virsmas potenciāls; U_E – zemētājspriegums; U_{VT} – aplēses pieskarspriegums

Pieskarsprieguma vērtību nosaka un tās pieļaujamību novērtē pēc energostandarta LEK 136 un valsts standarta LVS EN 50522:2011 norādījumiem, no

kuriem galvenie, ievērojot Latvijas vīdsprieguma tīklu ekspluatācijas pieredzi, ir sekojoši:

1.1. Aplēses ZS strāva pieskarsprieguma aprēķinam atkarīga no tīkla izvēlētā neitrāles darba režīma, skat. Tabulu 5.1. LEK 136. Jāpiezīmē, ka kompensētas neitrāles tīklam aplēses ZS strāvu izvēlas pie viena atslēgta lokdzēses zemētājreaktora (pēc jaudas lielākā), taču tā nenokompensētā ZS strāvas kapacitatīvā komponente nedrīkst pārsniegt 40 A vērtību. Iespējamie pasākumi aplēses ZS strāvas samazināšanai ir papildus trešā zemētājreaktora izbūve a/st, esošo zemētājreaktoru nomināla palielināšana un lokālās kompensācijas sistēmas ieviešana tīklā. Pieļaujamo pieskarspriegumu palielina ātrdarbīgas ZS relejaizsardzības izmantošana.

1.2. Pieskarspriegums nedrīkst pārsniegt pieļaujamo vērtību, kas atkarībā no ZS ilguma dota energostandarta LEK 136 7.3. att.

1.3. Pieskarsprieguma pieļaujamību novērtē netieši, pēc pārbaudes algoritma (metodikas P2.3. att.) aprēķinot spriegumu uz zemējumietaisies.

1.4. Pieskarsprieguma pieļaujamības pārbaudei jāzin zemējumietaisies zemētāja izplūdpresetība kā arī pārējo galvaniski saistīto zemētāju (atkārtoto zemētāju, blakusesošo sadales transformatoru apakšstaciju zemējumietaišu u.c.) presetības.

1.5. Pretēju uzdevumu – zemējumietaisies zemētāja pieļaujamās izplūdpresetības noteikšanu veic pie dotas pieskarsprieguma pieļaujamās vērtības.

1.6. Aprēķinu metodikā lietotie termini, to definīcijas un angļu valodas ekvivalenti doti energostandarta LEK 136 3.nodaļā, daži metodikā vajadzīgie papildtermini, aprēķinu parametri un to burtu apzīmējumi doti šajā metodikā, Tabulā P3.1.. Metodikā lietotie terminu un parametru burtu apzīmējumi unifikācijas dēļ izmantoti valsts standarta LVS EN 50522:2011.

1.7. Zemējumietaišu un zemētāju pilnām un izplūdpresetībām, ieskaitot dabiskos zemētājus, ir izteikti aktīvs raksturs pie nominālās tīkla frekvences 50 Hz. Tas ļauj zemējumu aprēķinus vienkāršot un veikt ar presetību moduļiem, atsakoties no kompleksās formas.

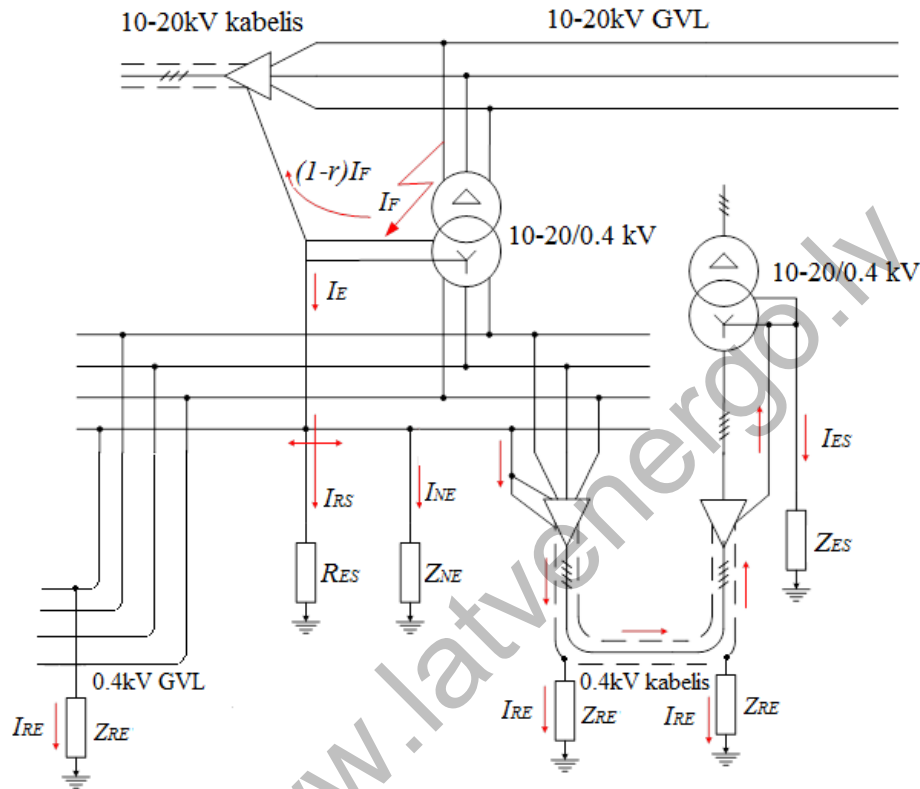
1.8. Aprēķinā neievēro atejošo 0,4 kV līniju PEN vadu un kabeļu metāla apvalku presetības. Ievēro tikai blakus esošo elektroiekārtu (piemēram, sadales transformatoru apakšstaciju (TA)) zemējumietaišu pilnās presetības, kas ietver arī tālāķesošo elektroiekārtu galvaniski saistītās zemējumietaisies.

1.9. Sadales TA dabisko zemētāju pilno presetību ZNE nevar aprēķināt, tā pirms aprēķiniem jāizmēra.

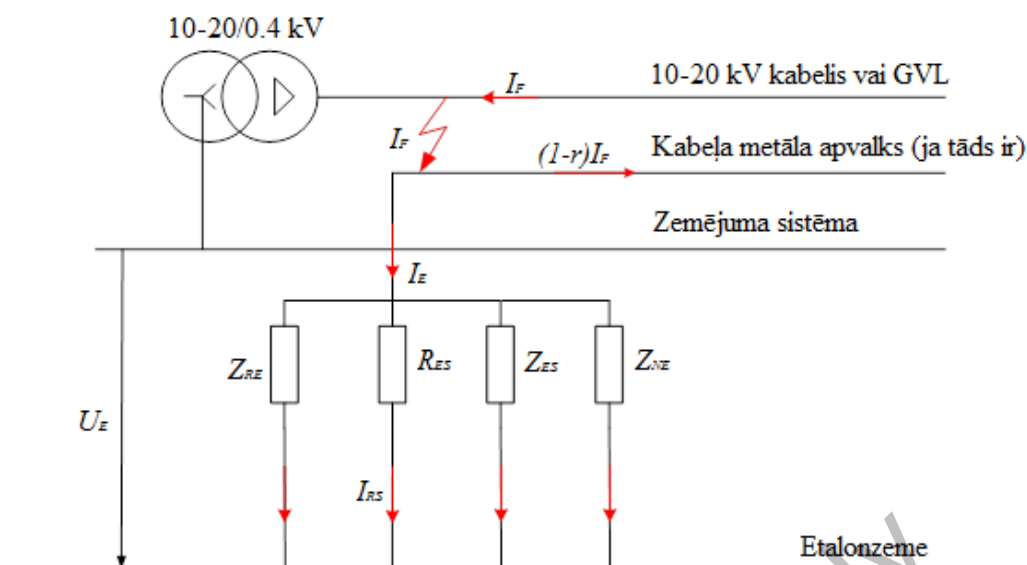
1.10. Metodikā izmantotas samazinājuma koeficienta r vidējās vērtības, kas konkrētam vadītāja tipam šajā metodikā dotas neatkarīgi no vīdsprieguma kabeļa un tā metāla apvalka šķērsgrīezuma (Tabula P2.1.). Tāds vienkāršojums tikai nedaudz samazina aprēķina precizitāti, jo LVS EN 50522 standartā r vērtības dotas tikai dažiem vīdsprieguma kabeļu tipiem pie kam ar plašu izkliedi (LVS EN 50522 Pielikums 1). Vīdsprieguma shēmas ietekmi uz koeficientu r neņem vērā, jo

iespējamie paralēlie atpakaļceļi zemesslēguma strāvai samazina pieskarspriegumu, t.i., rezervē aprēķinu.

2. Strāvu sadalījums zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zonā un aizvietošanas shēma



P2.1. attēls. Strāvas, spriegumi un pretestības zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zemējumietaisē zonā. Shēmā lietotie elektriskie parametri un to burtu apzīmējumi doti Tabulā P3.1.



kur

$$I_E = r \cdot I_F$$

$$U_E = I_E \cdot Z_E$$

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + \frac{1}{Z_{NE}} + \sum \frac{1}{Z_{ES}} + \sum \frac{1}{Z_{RE}}}$$

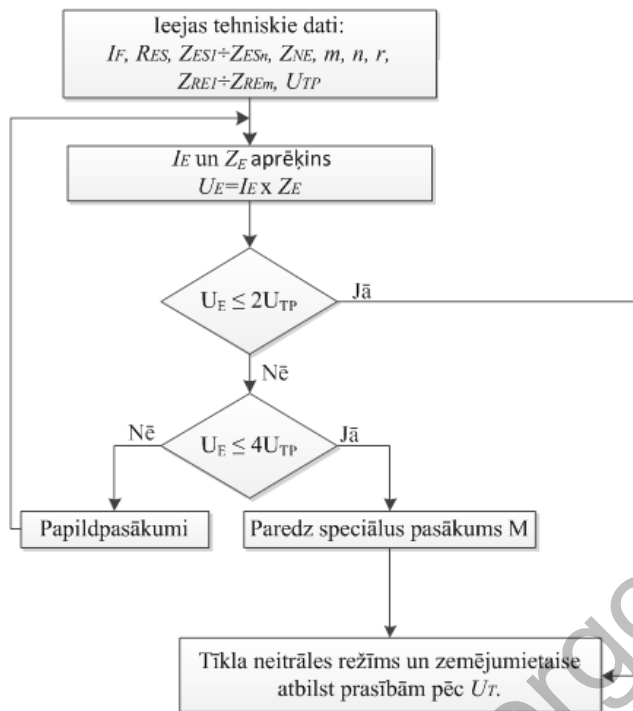
P2.2. attēls. Aizvietošanas shēma zemesslēguma gadījumā sadales transformatora zemējumietaisē zonā. Shēmā un formulās lietotie elektriskie parametri un to burtu apzīmējumi doti Tabulā P3.1.

Tabula P2.1.

Samazinājuma koeficienta vidējās vērtības:

$$r = \frac{I_E}{I_F}$$

10-20kV TA barojošā līnija	r
Alumīnija, vara vai tērauda GVL 50...120mm ²	1
Eļļas papīra izolācijas kabelis ar svina apvalku	0.4
Viendzīslas XLPE kabelis ar pīto vara ekrānu	0.55
Eļļas papīra izolācijas kabelis ar alumīnija apvalku	0.25



Piezīme: Samazinājuma koeficients r dots Tabulā P2.1., Tīkla neitrāles režīmam atbilstošais I_E dots LEK 136 Tabulā 5.1., U_{TP} dots LEK 136 7.3.att., U_E un Z_E aplēses formulas dotas P2.2. att.

P2.3. attēls. Pieskarsprieguma un sadales TA zemējumietaisē pārbaudes algoritms

3. Metodikā lietotie parametri un to burtu apzīmējumi

Tabula P3.1.

Metodikā lietotie parametri un to burtu apzīmējumi

Parametrs latviski	Parametrs angliiski	Apzīmējums
Potenciāla pieaugums uz zemējumietaisies - zemētājspriegums	Earth potential rise	U_E
Zemesslēguma strāva	Earth fault current	I_F
Strāva zemējumietaisē	Current to earth	I_E
Samazinājuma koeficients	Reduction factor	r
Strāvas daļa caur zemētāju	Current via the mesh earth electrode	I_{RS}
Strāvas daļa caur galvaniski saistītā blakus esošā transformatora zemējumietaisi	Current via the next transformer earthing system	I_{ES}
Strāvas daļa caur galvaniski saistīto atkārtoto zemētāju	Current via the repeated earth electrode	I_{RE}
Zemējumietaisies pilnā pretestība	Earthing system impedance to earth	Z_E
Zemētāja izplūdpresetība	Resistance to earth of earth electrode	R_{ES}
Galvaniski saistītā blakus esošā transformatora zemējumietaisies pilnā pretestība	Impedance of next transformer earthing system	Z_{ES}
Galvaniski saistītā atkārtotā zemētāja pilnā pretestība	Repeated earth electrode impedance	Z_{RE}
Blakus esošo galvaniski saistīto transformatoru skaits	Number of the next transformers	n
Galvaniski saistīto atkārtoto zemētāju skaits	Number of the repeated earthing electrode	m
Zemesslēguma strāvas daļa caur TA dabiskiem zemētājiem	Current via the natural earthing of substation	I_{NE}
TA dabisko zemētāju pilnā pretestība	Impedance of natural earthing of substation	Z_{NE}
Pieļaujamais pieskarspriegums	Permissible touch voltage	U_{TP}

Aplēses pieskarspriegums	Prospective touch voltage	U_{VT}
Pieskarspriegums (efektīvais)	Effective touch voltage	U_T
Elektrotīkla kapacitatīvā zemesslēguma strāva (aprēķinātā vai izmērītā)	Capacitive earth fault current	I_C
Zemesslēguma paliekošās strāvas aktīvā komponente kompensētā tīklā	Earth fault residual current	I_{RES}
Zemesslēguma aplēses strāvas reaktīvā komponente I_L , (deficīts līdz pilnai kompensācijai, atslēdzot vienu reaktoru)	Reactive component I_L of relevant current for calculation of earth potential rise	$I_L \leq 40A$
Vienfāzes zemesslēguma strāvas periodiskās komponentes sākuma vērtība elektroiekārtā (mazresistīva neitrāle)	Initial symmetrical short-circuit current for a line-to-earth short-circuit (low resistance neutral earthing)	I''_{K1}
Zemēts vads, kas veic gan aizsargvada, gan neitrālvada funkcijas	Protective earthing conductor, PEN conductor	PEN

4. Pieskarsprieguma samazināšanas pasākumi

4.1. Speciālie pasākumi M (LVS EN 50522 Pielikums E [4])

Tabula P4.1.

Speciālo pasākumu M lietošanas noteikumi

Bojājuma laiks t_f	Zemētājspriegums U_E	Ārējās sienas un žogi ap elektroiekārtu	Elektroiekārtas iekšpusē	
			Iekštelpu elektroiekārtas	Ārtelpu elektroiekārtas
$t_f > 5s$	$U_E \leq 4U_{TP}$	M1 vai M2	M3	M4.1 vai M4.2
$t_f \leq 5s$	$U_E \leq 4U_{TP}$	M1 vai M2	M3	M4.2

M1: Speciāli pasākumi ēku ārējām sienām un žogiem ap iekštelpu elektroiekārtām. Viens no speciāliem pasākumiem M1.1 līdz M1.3 var tikt lietots kā aizsardzība pret pieskarspriegumu, pieskaroties sienām un žogiem no ārpuses.

M1.1: Strāvu nevadoša materiāla lietošana ārējām sienām (piemēram, mūris vai koks) un izvairīšanās no iezemētām metāla daļām, kam var pieskarties no ārpuses.

M1.2: Potenciāla izlīdzināšana ar horizontāliem zemējumelektrodiem, kas savienoti ar zemētāju E, apmēram 1m attālumā no ārējās sienas, maksimāli 0.5m dziļumā.

M1.3: Operatīvās apkalpes vietas izolācija. Izolācijas materiāla klājumam jābūt pietiekami liels, lai nevarētu ar roku pieskarties zemētām vadošām daļām ārpus izolācijas materiāla klājuma. Ja pieskaršanās iespējama tikai no sāniem, izolācijas materiāla platums var nepārsniegt 1.25m. Kā pamatlīdzeklis personāla aizsardzībai pret pieskarspriegumu ir dielektrisko cimdņu izmantošana. Kā papildlīdzekļi darba vietas izolācijai var tikt izmantoti izolējoši paklājiņš, sadrupināti akmeņi vai grants slānis operatīvajā apkalpes vietā.

M2: Speciāli pasākumi žogiem ap ārtelpu elektroiekārtām.

Viens no speciāliem pasākumiem M2.1 līdz M2.3 var tikt lietots kā aizsardzība pret pieskarspriegumu. Pasākums M2.4 paredzēts caur žogiem veidoto izeju aizsardzībai.

M.2.1: Žogu veido no strāvu nevadoša materiāla, vai strāvu vadošu materiālu pārklāj ar plastmasu.

M.2.2: Ja žogs ir no strāvu vadoša materiāla, potenciālu pie ieejas elektroietaisē izlīdzina ar horizontāliem zemējumelektrodiem (gabarīti kā M1.2) ar savienojumu ar žogu vai bez tā (skat. M2.4.)

M.2.3: Apkalpes vietas izolāciju izveido kā norādīts M1.3 un žoga zemējumu izveido pēc standarta LVS EN 50522 Pielikuma G vai savieno ar zemējumietaisi.

M.2.4: Ja ieeja (vārti) žogā ap elektroietaisi ir savienoti tieši ar zemējumietaisi vai caur kabeļu metāla apvalkiem u.tml., tad apkalpes vietas pie ieejām elektroietaisēs izolē kā norādīts M1.3 vai lieto potenciāla izlīdzināšanu.

M3: Speciāli pasākumi iekštelpu elektroiekārtās. Jālieto viens no pasākumiem M3.1 līdz M3.3.

M3.1: Potenciālu izlīdzināšana ar tīklveida zemējumelektrodu ieguldīšanu ēkas pamatos, ko savieno ar zemējumietaisi vismaz divos atsevišķos punktos. Pārbauda dzelzbetona metāla daļu strāvas caurlaides spēju. Var lietot arī metāla paklājus, savienotus ar zemējumietaisi vismaz divos punktos. Esošās ēkās var lietot arī horizontālus zemējumelektrodus pie ārējās sienas, kas savienoti ar zemējumietaisi.

M3.2: Apkalpes vietās ar metāla pārklājumu pēdējie jāpievieno pie zemētām elektroiekārtu metāla daļām, kam var pieskarties apkalpes procesā.

M3.3: Apkalpes vietas izolēšanu veic atbilstoši M1.3.

M4: Speciālie pasākumi ārtelpu elektroiekārtās.

M4.1: Apkalpes vietās potenciālu izlīdzina ar horizontālu zemējumelektrodu, kam pievienotas visas zemētās daļas, kurām var pieskarties no apkalpes vietas. Tā vietā

var lietot metāla tīklu vai plāksni, kas savienota ar no apkalpes vietas sasniedzamām metāla daļām, kā arī apkalpes vietas izolēšanu atbilstoši M1.3.

M4.2: Ierok horizontālu zemējumelektrodu, kas aptver visu zemējumietaisi. Tās iekšpusē ierok tīklveida horizontālus elektrodus ar noteikta izmēra „acīm”.

4.2. Papildpasākumi, lai UE vērtību pieļautu līdz 4UTP

Lai šādā gadījumā nodrošinātu pieskarspriegumu mazāku par pieļaujamo vērtību, jāpastiprina zemējumietaisē vai jāsamazina strāva zemējumietaisē, piemēram, palielinot vertikālo zemējumelektrodu skaitu vai garumu, vīdsprieguma gaisvadu līnijai uzstāda ceturto vadu, gaisvadu līnijas vietā izbūvējot kabeļlīniju, u.tml. Pēc tam atkārti pieskarsprieguma pārbaudi.

5. Pieskarsprieguma pārbaudes un zemētāja izplūdpresetības aprēķina piemēri

5.1. Piemērs pieskarsprieguma aprēķinam 20kV kompensētas neitrāles tīklā

Uzdevums:

Aprēķināt pieskarspriegumu 20/0.4kV apakšstacijā ar diviem sadales transformatoriem, kas pieslēgta 20kV kabeļtīklam (a) un jauktam kabeļu- gaisvadu tīklam (b) ar kompensētu neitrāli un novērtēt tā pieļaujamību vienfāzes zemesslēguma gadījumā 20kV apakšstacijas apkalpes zonā. 110 kV apakšstacijā ir uzstādīti divi 75A lokdzēses reaktori pa vienam uz katras sekcijas. Tīkla kapacitatīvā zemesslēguma strāva $I_C=140A$.

Aprēķina režīms – viens transformators un viens no lokdzēses reaktoriem barojošā apakšstacijā atslēgts un abas 20 kV sekcijas strādā paralēli.

Izejas dati:

(skat. apakšstacijas shēmu P2.1. att. un zemesslēguma aizvietošanas shēmu P2.2. att.):

- zemesslēguma aplēses strāva apakšstacijā:

$$I_F = \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2} = \sqrt{40^2 + (0.1 \cdot 140)^2} = 42.4A;$$

$$I_L = 40 A \text{ (skat. Tabulu P3.1.)}$$

- apakšstacijas zemētāja izplūdpresetība $R_{ES}=4\Omega$;
- apakšstacija savienota ar divām citām apakšstacijām ar 0.4kV kabeļiem. Šo apakšstaciju zemējumietaišu pilnās pretestības Z_{ES} katra ir 4Ω ;

- aprēķinu veic diviem gadījumiem:
 - (a) gadījumā: zemesslēguma strāvas samazinājuma koeficients caur zemējumietaisi $r=0.25$ (20kV alumīnija kabeļu tīkls ar Al apvalkiem);
 - (b) gadījumā: zemesslēguma strāvas samazinājuma koeficients caur zemējumietaisi $r=1$ (tīklā ir 20kV gaisvadu līniju posmi);
- pieļaujamā pieskarsprieguma vērtība $U_{TP}=80V$ (ilgstošā režīmā, skat. LEK 136 7.3. att.);
- neņem vērā dabīgos zemētājus, kas samazina kopīgo zemējumietaises pretestību un pieskarspriegumu (ir rezerve);
- katra atkārtotā zemētāja izplūdpresetība 0.4kV tīklā ir $Z_{RE}=30 \Omega$ (no TA atiet sešas 0.4kV līnijas ar 5 atkārtotiem zemētājiem katrā, kopā tas ir $m = 6 \cdot 5 = 30$ gab.).

Aprēķins:

1. Apakšstacijas zemējumietaises pilnā pretestība:

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + 2 \cdot \frac{1}{Z_{ES}} + 5 \cdot 6 \cdot \frac{1}{Z_{RE}}} = \frac{1}{\frac{1}{4} + 2 \cdot \frac{1}{4} + 5 \cdot 6 \cdot \frac{1}{30}} = 0.57 \Omega$$

2. Zemesslēguma strāva caur zemējumietaisi:

(a) gadījums: $I_E = r \cdot I_F = 0.2 \cdot 42.4 = 8.48 A$

(b) gadījums: $I_E = r \cdot I_F = 1 \cdot 42.4 = 42.4 A$

3. Zemētājspriegums:

(a) gadījums: $U_E = I_E \cdot Z_E = 8.48 \cdot 0.57 = 4.83 V$

(b) gadījums: $U_E = I_E \cdot Z_E = 42.4 \cdot 0.57 = 24.17 V$

Ja 20 kV tīklā nav uzstādīts trešais lokdzēses reaktors jeb izkliedētā kompensācija, tad var pieņemt $I_L = I_{nom}=65A$ (darbā palikušo reaktoru noslogo pilnīgi). Atkārtotot iepriekš doto aprēķinu (a gadījums), iegūstam $I_F=66.5A$, $I_E=13,3A$ un zemētājspriegums palielinās līdz $U_E=7,6V$.

4. Pieskarsprieguma vērtība nepārsniedz pieļaujamo $U_{TP}=80V$, jo izpildās noteikums (P2.3. att.):

$$U_E < 2U_{TP}$$

(a) gadījums: $4.83V < 2 \cdot 80 = 160V$; $7,6 < 160V$;

(b) gadījums: $24.17V < 2 \cdot 80 = 160V$

5.2. Piemērs pieskarsprieguma aprēķinam 20kV gaisvadu tīkla sekcionējoša atdalītāja apkalpes zonā

Uzdevums:

Aprēķināt pieskarspriegumu ZS gadījumā sekcionējoša atdalītāja apkalpes zonā kompensētas neitrāles 20kV gaisvadu tīklā un novērtēt tā pieļaujamību. Normālā režīmā 20kV tīklu baro divtransformatoru 110 kV apakšstacija, starp kuras abām 20kV sekcijām sekcijslēdzis normālā darba režīmā atrodas atslēgtā stāvoklī.. 20kV tīkla kapacitatīvā ZS strāva $I_C=200A$ un ir uzstādīti divi lokdzēses reaktori ar $2I_{LR}=2 \cdot 140A$ strāvu pa vienam uz katras sekcijas. Tīklā uzstādīti sekcionējoši atdalītāji.

20kV līnijām ar sekcionējošiem atdalītājiem papildus tradicionālām ZS relejaizsardzībām uzstādītas momentānas darbības neselektīvas ZS relejaizsardzības, ko automātiski ieslēdz apakšstacijas vientransformatora režīmā ar ieslēgtu 20kV sekcijslēdzi un vienu atslēgtu lokdzēses reaktoru.

Pieskarspriegumu aprēķina aplēses režīms: apakšstacijas darbs ar vienu transformatoru, ieslēgtu 20kV sekcijslēdzi un vienu atslēgtu lokdzēses reaktoru (p.7.7 [1]).

Izejas dati:

- atdalītāja zemējumietaisies pilnā pretestība Z_E ir 10Ω , zemējumietais nav saistīts ar zemsprieguma tīklu;
- ZS pilns atslēgšanas laiks ir $0.15s$, kam atbilst pieļaujamais pieskarspriegums $U_{TP}=570V$ (7.3. att. LEK 136).

Aprēķins:

1. ZS aplēses strāva caur zemējumietaisi, ja ieslēgts tikai viens zemētājreaktors (paliekošās strāvas reaktīvā un aktīvā komponente):

$$I_E = I_F = \sqrt{(200-140)^2 + (0.1 \cdot 200)^2} = 63.2A$$

2. Spriegums uz zemējumietaisies:

$$U_E = I_E \cdot Z_E = 63.2 \cdot 10 = 632V$$

3. Pieskarspriegums nepārsniedz pieļaujamo vērtību $U_{TP}=570V$, jo izpildās:

$$U_E < 2U_{TP}$$

$$632V < 2 \cdot 570 = 1140V$$

Piezīme1: Ja nodrošina atļauto paliekošās reaktīvās strāvas komponenti 40A (skat. Tabulu P3.1.), tad ZS aplēses strāva samazināsies līdz 42,4 A, spriegums uz zemējumietaisies ZS gadījumā būs 424V un var uzstādīt lēnākas darbības relejaizsardzību ZS atslēgšanai (0.5s, kam atbilst $U_{TP}=210V$), t.i., var vienkāršot šo aizsardzību.

Piezīme2: Ja lieto speciālus pasākumus M, tad jāizpilda noteikums $U_E \leq 4U_{TP}$, kas atļauj palielināt pieļaujamo U_{TP} līdz $\frac{424}{4} = 106V$. Tādā gadījumā ZS ilgums nedrīkst pārsniegt 1.5s.

5.3. Piemērs pieskarsprieguma aprēķinam 20 kV kompensētas neitrāles tīklā bez papildzemējumietaisēm

Uzdevums:

Aprēķināt pieskarspriegumu zemesslēguma gadījumā 20/0.4 kV TA 20 kV zonā. TA baro 20 kV GVL, kam ZA strāvas samazināšanās koeficients caur zemējumietaisi $r = 1$. Kompensētās neitrāles 20 kV jauktā kabeļu – gaisvadu tīkla kapacitatīvā ZS strāva ir 160 A, uzstādīti divi 100A lokdzēses reaktori. ZS aplēses režīms ir ar vienu atslēgtu lokdzēses reaktoru. TA zonā dabisko zemētāju un atkārtoto zemētāju nav. TA zemējumietaisies pilnā pretestība ir $Z_E = Z_{ES} = 4 \text{ } \Omega$, ieskaitot zemētāja izplūdpresetību. Novērtēt pieskarsprieguma pieļaujamību ZS gadījumā.

Aprēķins:

1. Aplēses zemesslēguma strāva caur zemējumietaisi, ja ieslēgts tikai viens lokdzēses reaktors (paliekošās strāvas reaktīvā un aktīvā komponente):

$$I_E = I_F = \sqrt{(160 - 100)^2 + (0.1 \cdot 160)^2} = 62A$$

2. Spriegums uz zemējumietaisies:

$$U_E = I_E \cdot Z_E = 62 \cdot 4 = 248V$$

3. Pieskarsprieguma pieļaujamā vērtība ilgstoša ZS gadījumā $U_{TP}=80V$, kas tiek pārsniegta jo neizpildās noteikums:

$$U_E < 2U_{TP}$$

$$248V < 2 \cdot 80 = 160V$$

4. Iespējami šādi risinājumi:

4.1. ZS jāatslēdz vismaz 1s laikā, tad $U_{TP}=125 V$ un izpildās noteikums

$$U_E < 2U_{TP}$$

$$248V < 2 \cdot 125 = 250V ,$$

4.2. Jālieto speciālie pasākumi M, lai izpildītos noteikums:

$$U_E \leq 4U_{TP} ,$$

$$248V < 4 \cdot 80 = 320V ,$$

kas atļauj palielināt pieļaujamo U_{TP} līdz $\frac{248}{4} = 62V$. Tādā gadījumā pieļaujams ilgstošs ZS ar $U_{TP} = 80 V$.

5.4. Piemērs apakšstacijas zemētāja izplūdpresetības aprēķinam 10kV mazresistīvas neitrāles tīklā

Uzdevums: Aprēķināt 10/0.4kV apakšstacijas zemētāja izplūdpresetību R_{ES} , lai zemesslēguma gadījumā 10kV tīklā ar mazresistīvu neitrāli pieskarspriegums nepārsniegtu pieļaujamo vērtību $U=96V$, ja bojājuma laiks 1,5s. Aprēķinu veikt 10kV kabeļtīklam (a) un 10kV jauktam kabeļu-gaisvadu tīklam (b).

Izejas dati: (skat. apakšstacijas shēmu P2.1. att. un zemesslēguma aizvietošanas shēmu P2.2. att.):

- zemesslēguma strāva apakšstacijā: $I_F = 500A$;
- zemesslēguma strāvas samazinājuma koeficients caur zemējumietaisi
 - (a) gadījumā: $r=0.25$ (10 kV kabelim ar Al apvalku, skat. Tabulu P2.1.);
 - (b) gadījumā: $r=1$ (10kV jaukts kabeļu-gaisvadu līniju tīkls ar gaisvadu posmu barojošajā ķēdē);
- pieļaujamā pieskarsprieguma vērtība $U_{TP}=96V$;

- neņem vērā dabīgos zemētājus (aprēķinam ir rezerve);
- atkārtoto zemētāju izplūdes pretestība 0.4kV tīklā ir $Z_{RE}=30 \Omega$ (no TA atiet sešas 0.4kV līnijas ar 5 atkārtotiem zemētājiem katrā, t.i., $m = 6 \cdot 5 = 30$).
- apakšstacija savienota ar divām citām apakšstacijām ar 0.4 kV kabeļiem. Šo apakšstaciju zemējumietaišu pilnās pretestības Z_{ES} katra ir 4Ω ;

Aprēķins:

1. Zemesslējuma strāva caur zemējumietaisi:

(a) gadījums: $I_E = r \cdot I_F = 0.25 \cdot 500 = 125 A$

(b) gadījums: $I_E = r \cdot I_F = 1 \cdot 500 = 500 A$

2. Zemējumietais pretestība nedrīkst pārsniegt:

(a) gadījums: $Z_E = \frac{2U_{TP}}{I_E} = \frac{96 \cdot 2}{125} = 1.54 \Omega$

(b) gadījums: $Z_E = \frac{2U_{TP}}{I_E} = \frac{96 \cdot 2}{500} = 0.384 \Omega$

3. Apakšstacijas zemētāja izplūdes pretestības maksimālo pieļaujamo vērtību R_{ES} nosaka pēc izteiksmes:

(a) gadījums:

$$Z_E \leq 1.54 = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + 2 \cdot \frac{1}{Z_{ES}} + 5 \cdot 6 \cdot \frac{1}{Z_{RE}}}$$

$$Z_E \leq \frac{1}{\frac{1}{\infty} + 2 \cdot \frac{1}{4} + 5 \cdot 6 \cdot \frac{1}{30}} = 0.67 \Omega$$

Robežgadījumā, ja $R_{ES} = \infty$ (t.i., TA zemējumietasei speciāla zemētāja nav), tad $Z_E=0.67$ un U_T nepārsniedz pieļaujamo vērtību 96V. 10/0.4kV apakšstacijas tradicionāli pieļaujamā zemētājpretestība ir 4Ω [3], to arī izvēlamies. Pieļaujamais pieskarspriegums šajā gadījumā ar rezervi pārsniedz faktisko vērtību.

(b) gadījums:

$$Z_E = 0.384 = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + 2 \frac{1}{Z_{ES}} + 5 \cdot 6 \cdot \frac{1}{Z_{RE}}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + 2 \cdot \frac{1}{4} + 5 \cdot 6 \cdot \frac{1}{30}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + 1.5}$$

$$\frac{1}{R_{ES}} + 1.5 = \frac{1}{0.384}$$

$$\frac{1}{R_{ES}} = 1.1$$

$$R_{ES} = 0.91 \Omega$$

Tātad pieļaujamā pieskarsprieguma nodrošināšanai vienfāzes zemeslīguma gadījumā jāizbūvē 10/0.4kV apakšstacijas zemētājs ar 0.91Ω pretestību. Lai ekonomisku apsvērumu dēļ palielinātu mākslīgā zemētāja pretestību, iespējams aizvietot 10kV tīkla attiecīgo gaisvadu posmu ar kabeli un analogi noteikt vajadzīgo mākslīgā zemētāja izplūdpresetību.

5.5. Piemērs pieskarsprieguma aprēķinam 10kV mazresistīvas neitrāles tīklā

Uzdevums:

Aprēķināt pieskarspriegumu 10/0.4kV apakšstacijā, kas pieslēgta 10kV kabelītīklam ar mazresistīvu neitrāli un novērtēt tā pieļaujamību vienfāzes zemesslīguma gadījumā 10kV apakšstacijas zonā.

Izejas dati:

(skat. apakšstacijas shēmu P2.1. att. un zemesslīguma aizvietošanas shēmu P 2.2. att.):

- zemesslīguma strāva 10 kV apakšstacijā $I_F=500A$; zemesslīguma relejaizsardzības atslēgšanas laiks – 1,5s;
- apakšstacijas zemētāja izplūdpresetība $R_{ES}=1\Omega$; apakšstacija savienota ar divām citām apakšstacijām ar 0.4kV kabeliem. Šo apakšstaciju zemējumietaišu pilnās pretestības Z_{ES} katra ir 1Ω , $n=2$.
- Atkārtotie zemētāji uz 0,4 kV kabellīnijām nav, $m=0$;
- 10 kV TA apakšstacija pieslēgta 10 kV tīklam ar 10 kV kabeli ar alumīnija apvalku un gaisvadu līniju;
- zemesslīguma strāvas samazinājuma koeficients caur zemējumietaisi $r=0.25$ (kabelim ar Al apvalku skat. Tabulu P2.1.);

- pieļaujamā pieskarsprieguma vērtība $U_{TP}=96V$, ja bojājuma laiks ir 1,5 s (7.3. att. LEK 136).

Aprēķins:

1. Apakšstacijas zemējumietais pilnā pretestība (skat. P2.2. att):

$$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + 2 \frac{1}{Z_{ES}}} = \frac{1}{\frac{1}{1} + 2 \frac{1}{1}} = 0.333\Omega$$

2. Zemesslēguma strāva caur zemējumietaisi:

$$I_E = r \cdot I_F = 0.25 \cdot 500 = 125A$$

3. Zemētājspriegums:

$$U_E = I_E \cdot Z_E = 125 \cdot 0.333 = 41.6V$$

4. Pieskarsprieguma vērtība nepārsniedz pieļaujamo $U_{TP}=96V$, jo izpildās noteikums (P2.3. att.):

$$U_E < 2U_{TP}$$

$$41.6V < 2 \cdot 96 = 192V$$

5. Ilustrācijai noteiksim zemētājspriegumu dažādām strāvas samazinājuma koeficienta vērtībām (0.2...0.6), kas atbilst dažādiem 10kV tīkla kabeļiem (Tabula P2.1.), kā arī 10kV gaisvadu līnijai, kam $r=1$. Aprēķina rezultāti apkopoti Tabulās P5.1. un P5.2.

Tabulu P5.1. un P5.2. 7. kolonā norādītas pieskarsprieguma vērtības (izceltās), kad tās pārsniedz pieļaujamo vērtību, kas bez speciāliem pasākumiem M (4.1. nodaļā) nav pieļaujams:

$$U_E \leq 2U_{TP} = 192V$$

$$U_{TP} = 96V \text{ (7.3. att. LEK 136)}$$

Tabula P5.1.**Sadales transformatoru apakšstacija savienota ar divām blakus esošām TA:**

r	$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + 2\frac{1}{Z_{ES}}}$	I_F	10kV kabeļu līnija		10kV GVL ($r=1$)	
			$I_E = r \cdot I_F$	$U_E = I_E \cdot Z_E$	$I_E = 1 \cdot I_F$	$U_E = I_E \cdot Z_E$
1	2	3	4	5	6	7
0.2	0.333	500	100	33.3	500	166.67
0.3	0.333	500	150	50	500	166.67
0.4	0.333	500	200	66.7	500	166.67
0.5	0.333	500	250	83.3	500	166.67
0.6	0.333	500	300	100	500	166.67

Tabula P5.2.**Transformatora apakšstacija (TA) savienota ar vienu blakus esošo TA:**

r	$Z_E = \frac{1}{\frac{1}{R_{ES}} + 1\frac{1}{Z_{ES}}}$	I_F	10kV kabeļu līnija		10kV GVL ($r=1$)	
			$I_E = r \cdot I_F$	$U_E = I_E \cdot Z_E$	$I_E = 1 \cdot I_F$	$U_E = I_E \cdot Z_E$
1	2	3	4	5	6	7
0.2	0.500	500	100	50	500	250
0.3	0.500	500	150	75	500	250
0.4	0.500	500	200	100	500	250
0.5	0.500	500	250	125	500	250
0.6	0.500	500	300	150	500	250

Piezīme1: Apakšstacijas zemējumietais pilnā pretestība un pieskarspriegumi šajā piemērā aprēķināti neņemot vērā dabīgos zemētājus un atkārtotos zemētājus uz 0.4kV līnijām, kas samazina pieskarsprieguma vērtību.

Piezīme2: Ja lieto speciālos pasākumus M, izpildās noteikums $U_E \leq 4U_{TP}$ ($250 < 4 \cdot 96 = 384$) un pieskarspriegums nepārsniedz pieļaujamo vērtību arī visos 10kV GVL gadījumos.