

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Enerģētikas institūts

Dmitrijs DROZDS

**DIGITĀLO AIZSARDZĪBU IESTATĪJUMU
UN ELEKTROTĪKLA ELEMENTU
PARAMETRU SASKAŅOŠANAS OPTIMIZĀCIJA
UN ANALĪZE**

Promocijas darba kopsavilkums

Rīga 2010

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Enerģētikas institūts

Dmitrijs DROZDS
Enerģētikas un elektrotehnikas doktora programmas students

**DIGITĀLO AIZSARDZĪBU IESTATĪJUMU
UN ELEKTROTĪKLA ELEMENTU
PARAMETRU SASKAŅOŠANAS OPTIMIZĀCIJA UN
ANALĪZE**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr.sc.ing.
Kārlis BRIŅĪS

RTU Izdevniecība
Rīga 2010

621.311+621.316.925.45](043.2)

Dr 724 d

Drozds D. Digitālo aizsardzību iestatījumu un elektrotīkla elementu parametru saskaņošanas optimizācija un analīze. Promocijas darba kopsavilkums. – R.: RTU, 2010. – 33 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Promocijas padomes P-05 (Enerģētika un Elektrotehnika) no 2010. gada 22. janvāri. Lēmumu Nr.1.

ISBN 978-9934-10-008-6

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2010. gada 16. aprīlī plkst. 14:30 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un Elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, aktu zālē.

OFICIĀLIE OPONENTI

Dr.habil.sc.ing., Profesors A. Sauhats,
Rīgas Tehniskā universitāte (RTU)

Dr.sc.ing., Releju aizsardzības un automātikas vecākais inženieris S. Rubcovs,
A/S Augstsprieguma Tīkls (AST)

Dr.sc.ing., D.Ļubarskis,
Energosetproject, Krievija.

APSTIPRINĀJUMS

Es apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskā universitātē inženierzinātņu doktora grādu iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Dmitrijs Drozds (Paraksts)

Datums

Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā, darbs satur ievadu, 13 nodaļas, secinājumus, ka arī literatūras sarakstu. Darba kopējais apjoms ir 176 datorsalikuma lappuses. Darbā iekļautas 3 tabulas un 101 attēls. Literatūras sarakstā iekļauti 32 izmantotas literatūras avoti.

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

SATURS

	Lpp.
Saturs	4
Darba vispārējais raksturojums	5
Darba aktualitāte	5
Darba mērķi un uzdevumi	6
Pētījuma metodes	7
Promocijas darba zinātniskā novitāte	7
Promocijas darba praktiskā nozīme	8
Aizstāvēšanai izvirzītās pamatnostādnes	8
Darba aprobācija	8
Publikācijas	9
Darba struktūra un apjoms	10
1. Elektrotīkla elementu un darba režīmu apraksts	11
1.1. Elektrotīkla apraksts un shēmas grupēšana pēc topoloģijas	11
1.2. Īsslēguma strāvas aplēses prasības	11
1.3. Elektrotīkla darba režīmu apraksts	12
2. Distantaizsardzības un zemesslēguma aizsardzības iestatījumu izvēle	13
2.1. Aizsardzības releju iestatījumu grupu noteikšana	13
2.2. Distantaizsardzības un zemesslēguma strāvas aizsardzības pamatpakāpes iestatījumu izvēle	14
2.3. Distantaizsardzības un zemesslēguma strāvas aizsardzības rezerves pakāpes iestatījumu izvēle	16
2.4. Distantaizsardzības un zemesslēguma strāvas aizsardzības iestatījumu izvēle tālai rezervēšanai	23
3. Distantaizsardzības releja atsevišķu elementu iestatījumu izvēles rekomendācijas	25
3.1. Distantaizsardzības bloķēšanas pie svārstībām izmantošana	25
3.2. Pārvades elektrolīnijas nostrādes raksturliķnes optimizācija	25
3.3. Distantaizsardzības palaišanas orgāna iestatījumu izvēle	27
3.4. Distantaizsardzības telepaātrināmās pakāpes iestatījumu izvēle	27
4. Autotransformatoru distantaizsardzības iestatījumu izvēle	28
5. Vienfāzes vai trīsfāžu automātiskās atkalieslēgšanas iestatījumu izvēle	30
Darba slēdzieni	31
Tēmas nākotnes attīstības perspektīvas un citi pielietojumi	33

DARBA VISPĀRĒJAIS RAKSTUROJUMS

Darba aktualitāte

Enerģētika ir viena no vadošām Latvijas tautsaimniecības nozarēm. Latvijas enerģosistēma ir elektriski savienotā ar Lietuvas, Igaunijas, Krievijas un Baltkrievijas enerģosistēmām.

Lielo enerģosistēmu veidošanas pamatā ir elektroenerģijas ražošanas, pārvades un sadales efektivitātes paaugstināšana, kā arī elektroapgādes drošuma kritēriju nodrošināšana. Ir zināms, ka, sākot ar pagājušā gadsimta 70. gadiem apvienotas enerģosistēmas 330 kV pārvades elektrotīklā katras pārvades elektrolīnijas relejaizsardzībā tika izmantota gan fazdiferenciāla, gan distantaizsardzība (DA) un zemesslēguma aizsardzība (ZSA) ar sakaru kanāliem abos virzienos. Sākot ar pagājušā gadsimta 90. gadiem tiek izmantoti divi komplekti (pamata un rezerves) DA un ZSA ar sakaru kanāliem abos virzienos.

Distantaizsardzības relejs, apstrādājot strāvas un sprieguma nomērītās vērtībās, aplēs pretestības lielumus no releja uzstādīšanas vietas līdz bojājuma vietai, un salīdzina tos ar aplēstiem un izvēlētiem iestatījumiem. DA un ZSA iestatījumi ir atkarīgi no pārvades elektrolīnijas vai cita aizsargājama elementa parametriem, ka arī no elektriskiem režīmiem apkārtējā elektrotīklā. Praksē izmanto DA un ZSA iestatījumu grupas, kurās tiek mainīti iestatījumi atkarībā no režīma vai elektrotīkla konfigurācijas.

DA un ZSA releji arvien biežāk paliek par pārvades elektrolīniju un elementu pamataizsardzību, tieši tāpēc, drošas un selektīvas DA un ZSA darbības nodrošināšana ir viens no aktuālākiem tehniskiem jautājumiem.

Lai lietotu mūsdienu digitālo DA releju, kas reaģē pie jebkura veida īsslēgumiem, un ZSA, kas reaģē uz vienfāzes un divfāžu īsslēgumiem uz zemi, ir nepieciešama attīstīta un apzināti pielietojama to iestatījumu aplēses un izvēles metodika.

Esošie DA un ZSA iestatījumu aplēses un izvēles metodiskie norādījumi un releju apraksti ļauj aplēst un izvēlēties kā pamatiestatījumus, tā arī detalizētās nostrādes vai nenostādes robežvērtībās. Dažādu aizsardzības releju funkcionēšana ir atšķirīga ne tikai pēc savā algoritma, bet arī pēc parametru dažādības, piemēram, nostrādes raksturlieknes konstruēšanā, ka arī nostrādes vai nenostādes jutības līmeņu veidošanā. Šo daudzu un dažādu aizsardzības releju iestatījumu savstarpējas saskaņošanas jautājums paliek neatrisināts.

Lai apzināti pieietu pie šī aktuālākā jautājuma atrisināšanas jāizmanto gan praktisko pieredzi, gan jaunās izstrādātās metodes. Šiem paņēmieniem un

metodikām, savukārt, jābūt pēc iespējas optimāliem savā pielietojumā, bet tajā pašā laikā konkrētiem un precīziem.

Šajā darbā tika izstrādāta DA un ZSA iestatījumu aplēses un izvēles metodika, lai to varētu pielietot jebkura tipa aizsardzības relejiem, tomēr visrūpīgāk tiek apkstaīts viens no izplatītākiem algoritmiem – Siemens koncerna aizsardzības releju tips. Protams, izstrādāta metodika var tikt pielietota jebkura cita aizsardzības releja tipa iestatījumu aplēsei un izvēlei pateicoties tam, ka Siemens relejā pielietojamais algoritms tiek bāzēts uz klasiskiem elektrotehniskiem likumiem un paņēmieniem.

Mūsdienu relejaizsardzības iestatījumu izvēles pielietojamo algoritmu daudzveidība un apjoms attīstās ar katras jaunās aizsardzības releju sērijas izplatīšanas. Tas, savukārt, prasa šo algoritmu savstarpējas saskaņošanas optimizēšanu ne tikai no informācijas savstarpējas apmaiņas viedokļa, bet arī no nostrādes pakāpju iestatījumu savstarpējas saskaņošanas viedokļa.

Ar piedāvātās jaunās metodes palīdzību ir iespējams daudz efektīvāk atrisināt DA un ZSA iestatījumu izvēles un saskaņošanas jautājumus, no kuru risināšanas ir atkarīgi relejaizsardzības elementu ātrdarbīgums, to funkcionēšanas drošums, jutības un selektivitātes nodrošinājums.

Nepieciešams atzīmēt, ka šīs metodikas izstrādēs laikā starptautiska projekta starp A/S „Augstsprieguma Tīkls” un „Siemens” koncernu līgumdarba ietvaros tika realizēta DA un ZSA iestatījumu izvēles un savstarpējas saskaņošanas jaunās pieejas ieviešana praksē Krievijas energosistēmā.

Darba mērķi un uzdevumi

Promocijas darba galvenais mērķis ir paaugstināt DA un ZSA iestatījumu aplēses un izvēles efektivitāti, ņemot vērā jebkura tipa aizsardzības releju konstruktīvās un algoritmiskās īpatnības to savstarpējas saskaņošanas procesā.

Lai sasniegtu šo mērķi, darbā tiek risināti šādi galvenie uzdevumi:

- DA un ZSA iestatījumu aplēšu metodikas izstrāde, ņemot vērā gan elektrotilkla un elektrostaciju elektriskās shēmas konfigurāciju, gan apakšstaciju primārās shēmas.
- Esošas DA un ZSA iestatījumu izvēles metodikas izvērtējums no dažāda tipa aizsardzības releju savstarpējas saskaņošanas pielietojuma viedokļa.
- Jaunas metodikas izstrāde DA un ZSA iestatījumu izvēlei un savstarpējai saskaņošanai.

- Jaunas piedāvātās metodikas matemātiskā modeļa izveide, ka arī aizsardzības releju nostrādes pakāpju iestatījumu savstarpējas saskaņošanas specializētas programmatūras izstrāde.
- Piedāvātās jaunas metodikas praktiska pielietojuma piemēru apskats.

Pētījuma metodes

- Promocijas darba sākotnējuzdevumu risināšanai tika izmantota energosistēmu elektrotīkla konfigurācijas un apakšstaciju primārās shēmas klasificēšanas un analīzes metode, ievērojot relejaizsardzības selektivitāti, drošuma un ātrdarbības paaugstināšanas nepieciešamība.
- Promocijas darba pamatuzdevumu risināšanai tika izmantotas CAPE (Computer-Aided Protection Engineering System) specializētas programmatūras daļa – īsslēguma strāvas un pretestības aplēses modulis, ka arī izmantoti energosistēmas dinamisko procesu modelēšanas datorprogrammas MUSTANG dati.
- Pētījumiem tika izveidota DA iestatījumu savstarpējas saskaņošanas specializēta programmatūra DPSCP (Distance Protection Settings Coordination Program).

Promocijas darba zinātniskā novitāte

- Analizēta DA un ZSA esošo metodisko norādījumu pielietojuma aktualitāte, ņemot vērā relejaizsardzības ierīču nepārtraukto modernizēšanu ar mikroprocesoru tehnikas plašāku izmantošanu.
- Izstrādāta jauna metodika DA un ZSA nostrādes pakāpju iestatījumu aplēsei un izvēlei.
- Izstrādāti matemātiskie modeļi, ar kuru palīdzību ir iespējams aplēst un izanalizēt jebkura aizsardzības releja tipa nostrādes pakāpju iestatījumus un bojājuma parametrus.
- Izveidots vienfāzes īsslēguma uz pārvades elektrolīnijas DA nostrādes raksturliķnes optimizācijas apraksts, ar kritērijiem un nosacījumiem.
- Izstrādāts jauns DA bloķēšanas pie svārstībām izmantošanas vai neizmantošanas apraksts, ka arī prasības un nosacījumi bloķēšanas pielietojumam vai nepielietojumam.

- Izstrādāti jauni DA palaišanas orgāna iestatījumu izvēles nosacījumi un prasības, tai skaitā aplēšot pretestības aktīvas un reaktīvas sastāvdaļas izgriezuma vērtības, nodrošinot palaišanas orgāna nenotrādi pie jaudas uzmetumiem pēcavārijas situācijās.
- Izstrādātas jaunas rekomendācijas DA telepaātrināmas pakāpes iestatījumu izvēles kritēriju pielietošanai.
- Izstrādātas jaunas vienfāzes vai trīsfāžu automātiskās atkalieslēgšanas iestatījumu izvēles prasības un nosacījumi.

Promocijas darba praktiskā nozīme

Promocijas darba praktiskā nozīme izpaužas sekojoši:

- Piedāvāto jauno metodiku var pielietot DA un ZSA iestatījumu ticamākai un optimālākai izvēlei, kas nodrošinātu iestatījumu savstarpējo saskaņošanu un elektrotīkla elementu funkcionēšanas līmeņa paaugstināšanu.
- Piedāvātās DA un ZSA iestatījumu izvēles un savstarpējas saskaņošanas metodes var pielietot jebkurā energosistēmas funkcionēšanas etapā – plānošanas, rekonstrukcijas, normālā un avārijas režīmos.
- Izstrādāta metodika var tikt pielietota esošo relejaizsardzības elementu drošuma, ātrdarbības un selektivitātes pārbaudei.

Aizstāvēšanai izvirzītas pamatnostādnes

1. Īsslēguma strāvas aplēses prasību izstrāde un apraksts, ka arī 110÷330 kV elektrotīkla nepilnfāžu režīma aplēse, iekārtu parametru un aizvietošanas shēmu apraksts.
2. Elektrotīkla reglamentēto maksimālo un minimālo darba režīmu nosacījumu noteikšana (topoloģijas izmaiņas, elektrostaciju ģenerējošas jaudas maksimālos un minimālos režīmos u.t.t.), kas jāizmanto izvēlētos relejaizsardzību iestatījumus, nodrošinot to selektivitāti, ātrdarbīgumu un nostrādes drošumu. Nereglamentētos darba režīmos pamatā jānodrošina nostrādes drošums un ātrdarbīgums.
3. Izstrādāta jauna metodika DA un ZSA nostrādes pakāpju iestatījumu aplēsei un izvēlei.

4. Izstrādāts DA bloķēšanas pie svārstībām izmantošanas vai neizmantošanas optimizācijas apraksts, ka arī izstrādāti DA palaišanas orgāna iestatījumu izvēles precizēti nosacījumi un prasības.
5. Izstrādātas jaunas rekomendācijas DA telepaātrināmas pakāpes iestatījumu izvēles kritēriju pielietošanai.
6. Izstrādāti jauni autotransformatoru DA iestatījumu izvēles nosacījumi augstāka un vidēja sprieguma pusēs, nodrošinot DA pakāpju savstarpējo selektivitāti.
7. Izstrādātas jaunas vienfāzes vai trīsfāžu automātiskās atkalieslēgšanas iestatījumu izvēles prasības un nosacījumi.

Promocijas darba aprobācija

1. „14th International Conference on Power System Protection 2004” – no 29. septembra līdz 1. oktobrim 2004 gadā, Bled, Slovēnija.
2. „Relay Protection and Substation Automation of Modern EHF Power Systems 2007” – no 9. līdz 13. septembrim 2007. gadā, Maskava, Čeboksari, Krievija.
3. „Релейная защита и автоматика энергосистем 2008” – no 27. līdz 30. maijam 2008. gadā, Maskava, Krievija.

Publikācijas

Starptautiski referējamus un vietējos izdevumos, ligumdarbos:

1. Brinkis K., Drozds D. „About the Problems of the Distance Protection Reliable and Selective Operation Ensuring”, Proceedings of the 14th International Conference on Power System Protection 2004, Bled, Slovenia, September 29 – October 1, 2004.
2. Drozds D. „Metodiskie norādījumi pirmās pakāpes iestatījumu izvēlei REL5** distantaizsardzības komplekšiem izmantojot RCALC programmatūru”, Baltijas energosistēmu dispečeru centrs, 2005. gada februāris, 37. lpp.
3. Brinkis K., Drozds D. „Distance Protection Sensitivity at Diverse Faults”, Latvian Journal of Physical and Technical Sciences, Nr.2 2005., 3-11. lpp.

4. Brinkis K., Drozds D. „Distantaizsardzības fāzes izvēles funkcijas optimizācija”, *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, Nr.1. 2006., 29-38. lpp.
5. Briņķis K., Drozds D. „Novembra avārija sadala Eiropas elektrotīklu trijās daļās”, *Enerģija un Pasaule*, Nr.1 (42) 2007., 39-45. lpp.
6. Briņķis K., Drozds D. „About the European blackout of 4 November 2006 which entailed UCTE network splitting into three areas”, *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, N2 2007., 3-14. lpp.
7. Brinkis K., Drozds D. „Load encroachment resistance settings calculation features for digital distance protection”, *Proceedings of the International Conference on Relay Protection and Substation Automation of Modern EHF Power Systems 2007, Moscow – Cheboksary, September 10-12, 2007.*
8. Briņķis K., Drozds D. „Distantaizsardzību iestatījumu izvēles īpatnības atkarībā no elektriskajiem režīmiem un iekārtu parametriem”, *Enerģija un Pasaule*, Nr.1 (48) 2008., 80-85. lpp.
9. Briņķis K., Drozds D., Vanzovičs E. „Distantaizsardzības jutības palielināšanas iespējas divķēžu 330 kV PEL”, *Enerģija un Pasaule*, №5 (58), Rīga, 2009.
10. Starptautiskā projekta „Distantaizsardzības iestatījumu izvēles metodikas izstrāde” starp «Siemens» koncernu un AS «Augstsprieguma Tīkls» līgumdarbs laika periodā no 2007. gada 1. jūnija līdz 2007. gada 1. decembrim.

Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs uzrakstīts latviešu valodā, darbs satur ievadu, 13 nodaļas, secinājumus, kā arī literatūras sarakstu. Darba kopējais apjoms ir 176 datorsalikuma lappuses. Darbā iekļautas 3 tabulas un 101 attēls. Literatūras sarakstā iekļauti 32 izmantotas literatūras avoti.

1. ELEKTROTĪKLA ELEMENTU UN DARBA REŽĪMU APRAKSTS.

1.1. Elektrotīkla apraksts un shēmas grupēšana pēc topoloģijas.

Relejaizsardzības iestatījumus aplēš pie jaunas elektroiekārtas (ģeneratoru, bloka transformatoru, pārvades elektrolīniju (PEL), autotransformatoru (AT), kas savstarpēji savieno sistēmas ar diviem nomināliem sprieguma līmeņiem (piem., 110 un 220 kV, vai 110 un 330 kV u.t.t.) ieviešanas, ka arī apakšstaciju (a/st) rekonstrukcijas rezultātā, tai skaitā modernizējot relejaizsardzības un automātikas iekārtas.

Šādas energosistēmu attīstības formas nosaka specifiskas prasības un ierobežojumus īsslēguma strāvu un sprieguma aplēsēm, ka arī relejaizsardzības (RA) iekārtu iestatījumu izvēlei.

Lai samazinātu īsslēguma strāvu un spriegumu aplēšu apjomus, ir nepieciešams izdalīt energosistēmas daļu, kurā jāveic nepieciešamās aplēses. Tas savukārt atļaus izvēlēties relejaizsardzības iekārtu iestatījumus, kuri atbilst ātrdarbības, nostrādes drošuma un selektivitātes kritērijiem paredzētos energosistēmu darba režīmos.

1.2. Īsslēguma strāvas aplēses prasības.

Šajā nodaļā ir izskatītas prasības īsslēguma un nepilnfāžu režīmu strāvu un spriegumu aplēsēm, elektroiekārtu (ģeneratoru, transformatoru, autotransformatoru u.c.) un pārvades elektrolīniju (PEL) parametru aplēšu formulām, ka arī slodzes modelēšanas nosacījumiem un elektrisko aplēšu aizvietošanas shēmām (tiešsecības, pretsecības un nullsecības), to sastādīšanas nosacījumi.

Kaskādveidīgas avārijas situācijā, kura ir raksturīga ar to, ka vienam gadījumam seko cits un tam vēl nākošais u.t.t., var izveidoties nestandarta režīms elektrotīklā, kas neatbilst aplēstiem maksimāliem un minimāliem darba režīmiem.

Prasības īsslēguma strāvu un spriegumu aplēsēm.

Prasības īsslēguma strāvu un spriegumu aplēsēm balstās uz aprēķināto vērtību precizitāti. Tās tiek izmantotas DA un ZSA iestatījumu aplēsēm un izvēlei 110-330 kV elektrotīklā. Aizsardzību iestatījumiem jānodrošina:

- drošu nostrādi pie bojājumiem aizsargājamā posmā;
- savstarpējo selektivitāti pie bojājumiem blakus posmos;

- nepieciešamu ātrdarbību, kas nodrošina elektrotīkla darbības stabilitāti pēcavārijas režīmā;
- drošu nenostādi pēcavārijas režīmos pēc bojājuma atslēgšanas vai pēc īsslēguma kaskādveidīgas atslēgšanas blakus posmā.

1.3. Elektrotīkla darba režīmu apraksts.

Hidroelektrostacijām (HES), kuras strādā maksimumslodzes segšanai.

Hidroelektrostacijas maksimālais režīms nozīmē, ka visi hidroagregāti (HA) ir ieslēgti darbā, elektrostacijas primāra shēma atbilst normālam režīmam, visi pievienojumi ir ieslēgti darbā elektriskas jaudas izdošanai.

Hidroelektrostacijas minimālais režīms nozīmē, ka visi HA ir atslēgti, pie elektrostacijas kopnēm pieslēgti ne mazāk, ka 50% no visiem bloka transformatoriem, kuru neitrāles ir saņemtas.

Termoelektrostacijām (TES), kuras izstrādā elektrisko un siltuma enerģiju.

TES minimālā režīmā PEL un AT skaitam jābūt ne mazākam par 50% no aplēstā skaita elektrotīkla maksimālā režīmā. Bloku transformatoru ar zemētām neitrālēm un atslēgto TĢ skaitam jābūt ne mazākam par 30% (līdz 70%) no maksimālā režīmā izmantojamo transformatoru un TĢ skaita.

TES maksimālais režīms nozīmē, ka visi TĢ ir ieslēgti darbā, primāra shēma atbilst normālām režīmam, visi pievienojumi ir ieslēgti.

Kondensācijas termoelektrostacijām (KTES).

Elektrostacijas maksimālais režīms nozīmē, ka visi TĢ ir ieslēgti darbā, primārā shēma atbilst normālam darba režīmam, un visi pievienojumi, kuri ir pieslēgti pie KTES jaudas izdošanas kopnēm ir ieslēgti. Ierobežojumu esamības gadījumā, piem., ja jāierobežo maksimāli pieļaujamās īsslēguma strāvas.

KTES minimālā darba režīmā var pieņemt, ka elektrostacijas ģenerācijas apjoms nav mazāks par 30% no maksimālas ģenerācijas apjoma, piem., ja maksimālā režīmā strādā divi vai trīs TĢ, tad minimālam režīmam atbilst viens TĢ.

2. DISTANTAIZSARDZĪBAS UN ZEMESSLĒGUMA AIZSARDZĪBAS IESTATĪJUMU IZVĒLE

2.1. Aizsardzības releju iestatījumu grupu noteikšana.

Raksturīgo režīmu vispārējie nosacījumi.

- Uz PEL ir izvesta pamataizsardzība bez laika ieturējuma, bet pēc dinamiskas stabilitātes kritērijiem nav pieļaujams likvidēt īsslēgumu ar laika izturi.
- Uz apakšstacijas kopnēm, pie kurām pieslēgtā elektrostacija strādā minimālā režīmā, nav vēlama īsslēguma atslēgšana bez laikiztures.
- Blakusapakšstacijas remontshēmā, ja blakus esošā elektrotīklā atslēgti ģenerācijas avoti, kas būtiski izmaina PEL RA iestatījumu izvēles nosacījumus pēc selektivitātes, piem., nevar nodrošināt ZSA pirmās pakāpes nenotrādi pie īsslēguma PEL pretējā galā u.c.
- 110 vai 220 kV elektrotīklā, ja ir izvesta remontā augstāka sprieguma PEL, kura šuntē minēto elektrotīklu.
- Divķēžu PEL viena no divām ķēdēm ir atslēgta un sazēmēta no abiem galiem.

Kādas papildus prasības ir jāievēro izmainot iestatījumu grupas.

- Visas iestatījumu grupas aplēs ņemot vērā RA drošas nostrādes, selektivitātes un ātrdarbības prasības. Par prioritāti jāuzskata nostrādes drošumu. Selektivitātes kritērijiem jābūt definētiem, piem., selektivitātes kritēriju nevar nodrošināt pie pamataizsardzības izvešanas no darbā u.t.t.
- Ja iestatījumu grupas ievēšana vienā objektā var novest pie selektivitātes kritēriju nenodrošināšanas 110-330 kV elektrotīklā, tad nepieciešams izskatīt atbilstošu iestatījumu grupu ievēšanu blakus objektos pēc iepriekš sagatavotām iestatījumu kartēm.
- RA iestatījumu grupas ievēšanai vai izvešanai jānotiek, ja elektrotīklā notiek režīma vai elektrotīkla shēmas izmaiņas, kuras ir iepriekš saskaņotas ar sistēmas operatoru.
- RA iestatījumu grupas ievēšanu vai izvešanu jāizdara tikai pēc 110-330 kV elektrotīkla pārējas jaunā darba režīmā, bet atsevišķos gadījumos jāņem vērā arī augstāka sprieguma elektrotīkla izmaiņas.

2.2. Distantaizsardzības un zemesslēguma strāvas aizsardzības pamatpakāpes iestatījumu izvēle.

DA pirmās pakāpes iestatījuma izvēles nosacījumi.

DA pirmās pakāpes pretestības iestatījuma reaktīvās (XI) un aktīvās (RI) sastāvdaļas izvēles nosacījumus nosaka tās droša nenostāde pie īsslēguma pretējā PEL galā. To var aplēst pēc sekojoša vienādojuma:

$$(R + jX)_{nostr} \leq k_{sask} \cdot Z_L; \quad (2.2.1.)$$

kur:

k_{sask} – saskaņošanas koeficients (kas nosaka 1-as nostrādes pakāpes lielumus, ņemot vērā mērmaīņu, DA orgānu un elektrotīkla parametru kļūdas) – 0,85÷0,95;
 Z_L – PEL pilnā pretestība ($R+jX$).

Parastos apstākļos, kuros būtu pielietojama metodika, pārējas pretestības vērtības pie īsslēgumiem uz zemi 330 kV elektrotīklā eksperimentāli ir noteikta 14 Ω , bet pie starpfāžu īsslēgumiem – 5 Ω .

ZSA pirmās pakāpes iestatījumu izvēles nosacījumi.

ZSA pirmās pakāpes nostrādes strāva tiek izvēlēta pēc sekojošiem saskaņošanas nosacījumiem.

- Pie īsslēguma uz zemi pretējā PEL galā uz apakšstacijas kopnēm, kura strādā minimālā režīmā, bet savā galā – ir maksimālais režīms.
- Nepilnfāžu režīmā, kas rodas pie nevienlaicīgas jaudas slēdža fāžu ieslēgšanas noslēdzot tranzītu pie liela leņķa starp ekvivalentiem EDS (līdz 90°).
- Nepilnfāžu režīmā, kas rodas VAAI ciklā uz aizsargājamas PEL, tai skaitā arī uz divķēžu PEL.
- Pie nesimetriskā īsslēguma un tā kaskādveidīgas atslēgšanas gredzenveidīgā elektrotīklā (jāpārbauda uz tuvu esošām PEL pirmo pakāpju nenostādes drošumu).

Nostrādes strāva, kura tiek izvēlēta pēc saskaņošanas ar nullsecības strāvu pie īsslēguma uz zemi pretējā PEL gala uz apakšstacijas kopnēm, tiek izvēlēta pēc vienādojuma:

$$I_{nostr} \geq k'_{sask} \cdot 3I_{0_maks}^K; \quad (2.2.2.)$$

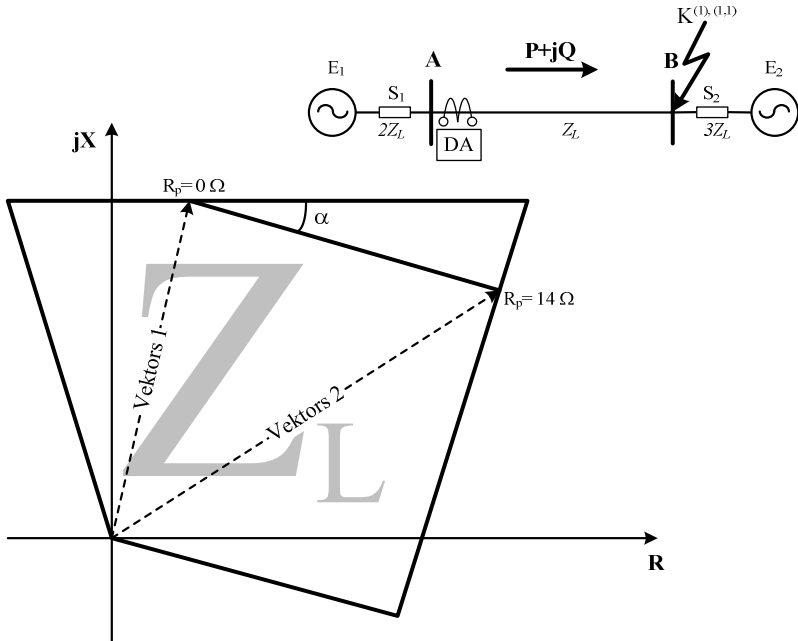
kur:

k'_{sask} – saskaņošanas koeficients, kas ņem vērā releja kļūdas, aperiodiskas strāvas sastāvdaļas ietekmi un nepieciešamo rezervi – ir vienāds ar 1,2+1,3, ja strāvas releji nereaģē uz aperiodisko strāvas sastāvdaļu, bet pretējā gadījumā – 1,3+1,5;

$3I_{0_maks}^K$ – nullsecības strāvas maksimāla vērtība pēc kritērijiem.

Nepieciešams atzīmēt, ka atsevišķos gadījumos, nullsecības strāvas vērtība ir lielāka divfāžu pārrāvuma gadījumā, salīdzinot ar vienas fāzes pārrāvumu.

DA pirmās pakāpes augšējās robežas slīpuma leņķa noteikšana.



Att. 2.2.1. DA pirmās pakāpes kompensācijas leņķa aplēse modelējot īsslēgumu kopā ar maksimālo jaudas plūsmu pirmsavārija režīmā.

Lai noteiktu DA pirmās pakāpes slodzes kompensācijas leņķi ir nepieciešams atrast starpību starp divu vektoru (Vektors 1. un Vektors 2.) leņķiem, ja īsslēgums ir pretējā PEL galā uz apakšstacijas kopnēm: bez pārejas pretestības ($R_p = 0$) īsslēguma vietā - Vektors 1., un ar pārejas pretestību ($R_p = 14 \Omega$) - Vektors 2.

Lai nodrošinātu DA pirmās pakāpes nenotrādi pie īsslēguma aizsargājamās PEL tālākā galā caur pārejas pretestību, ja aktīvas jaudas plūsma ir virzienā no apakšstacijas kopnēm uz PEL, nepieciešams izmantot DA pirmās pakāpes nostrādes raksturlielnes augšējās robežas slīpumu, kuru raksturo leņķis α , ko aplēš pēc vienādojuma:

$$\alpha = \arctg \frac{X_1 - k_{sask} \cdot X_{AK1}}{k_{sask} \cdot R_{AK1} - X_1 \cdot ctg \varphi_L}; \quad (2.2.3.)$$

kur:

- K_{sask} - saskaņošanas koeficients, kas ņem vērā mērmaiņu, distances orgānu un elektrotīkla parametru kļūdas;
- X_1 - DA pirmās pakāpes iestatījums pēc reaktīvas pretestības;
- X_{AK1} , R_{AK1} - reaktīvas un aktīvas pretestības aplēšu vērtības pie vienfāzes īsslēguma PEL tālākā galā ar pārejas pretestību bojājuma vietā, ja aktīvas jaudas plūsmas virziens ir no kopnēm uz PEL;
- X_{AK2} , R_{AK2} - reaktīvas un aktīvas pretestības aplēšu vērtības pie vienfāzes īsslēguma PEL tālākā galā ar pārejas pretestību bojājuma vietā, ja aktīvas jaudas plūsmas virziens ir no PEL uz kopnēm;
- φ_L - PEL pilnas pretestības vektora leņķis.

2.3. Distantaizsardzības un zemesslēguma strāvas aizsardzības rezerves pakāpes iestatījumu izvēle.

DA 2-ās pakāpes iestatījumu izvēles nosacījumi.

- Saskaņošana ar pretestības lielumu pie īsslēguma uz transformatora (autotransformatora) vidēja vai zemāka sprieguma kopnēm blakus apakšstacijā.

$$(R + jX)_{nostr} \leq k_{sask} \cdot Z_{apr}; \quad (2.3.1.)$$

kur:

k_{sask} – saskaņošanas koeficients (nosaka 2-ās nostrādes pakāpes robežas, ņemot vērā mērmaiņu un DA mērogrānu kļūdas, ka arī elektrotīkla parametrus) – 0,85±0,9;

Z_{apr} – pilnā aplēses pretestība ($R+jX$), ja maksimālais režīms uz savas apakšstacijas kopnēm, bet minimālais režīms blakusapakšstacijā.

- Saskaņošana ar visu atejošo no blakusapakšstacijas kopnēm DA un ZSA pirmām pakāpēm pēc pretestības. Saskaņošanas koeficients ir 0,9±0,95. Nostrādes laika iestatījums tiek izvēlēts pēc saskaņošanas principa ($\Delta t = 0,3 \pm 0,6$ s) atkarībā no RA tipa uz PEL, pretestības lieluma pie īsslēguma, ka arī atkarībā no blakusapakšstacijas primārās shēmas. ZSA otras pakāpes saskaņošanai ar blakusapakšstacijas visu PEL ZSA pirmās pakāpes iestatījumiem pēc nullsecības strāvas izmanto saskaņošanas koeficientu 1,1±1,2.
- Ja blakusapakšstacijā par primāro shēmu izmanto divkopņu sistēmu ar sajūgslēdzi starp kopnēm, tad uz sajūgslēdža ir jāizmanto DA, kuras otrai nostrādes pakāpei (pirmā bez laika ieturējuma netiek izmantota) jābūt saskaņotai pēc pretestības ar blakusapakšstacijas visu PEL DA un ZSA pirmām pakāpēm. Tas nozīmē, ka laika iestatījumam jābūt 0,25±0,3 s. Savukārt no savas apakšstacijas atejošai PEL DA otrās pakāpes laika iestatījumam jābūt vienādam ar 0,5±0,6 s.
- Ja blakusapakšstacijā tiek izmantota pusotra slēdža primāra shēma, tad lai novērstu tās pilnīgu nodzēšanu SBA (slēdža bojājuma aizsardzība) atteices gadījumā ir nepieciešams katram jaudas slēdzim izmantot divus SBA komplektus, ka arī katram slēdzim jāparedz pa diviem atslēgšanas solenoidiem. SBA nostrādes laiks, ieskaitot jaudas slēdža atslēgšanas laiku, nedrīkst pārsniegt 0,25±0,3 s. Šajā gadījumā no savas a/st atejošas PEL DA otrās pakāpes laika iestatījumam jābūt 0,5±0,6 s.

ZSA 2-ās pakāpes iestatījumu izvēles nosacījumi.

- Saskaņošana pie īsslēguma uz transformatora (autotransformatora) vidēja vai zemāka sprieguma kopnēm blakusapakšstacijā.

$$3I_{0_nostr} \geq k_{sask} \cdot 3I_{0_apr}; \quad (2.3.2.)$$

kur:

k_{sask} – saskaņošanas koeficients (kas nosaka aizsardzības 2-as pakāpes nostrādes robežas, ņemot vērā mērmaiņu un tīkla parametru kļūdas) – 1,2÷1,3;

$3I_{0_apr}$ – nullsecības strāva, kas ir aplēsta minimālā režīmā (pēc transformatoru neitrāļu un PEL skaita) blakusapakšstacijā un maksimālā režīmā uz savas apakšstacijas kopnēm.

- Saskaņošana ar DA un ZSA pirmām pakāpēm uz visām PEL, kuras atiet no blakusapakšstacijas kopnēm, pēc nullsecības strāvu sadalījuma aplēsēm. Lai saskaņotu ZSA otru pakāpi pēc nullsecības strāvas sadalījuma koeficienta ar atejošas PEL pirmo ZSA pakāpi jāizmanto saskaņošanas koeficients 1,1÷1,2. Nostrādes laika iestatījums tiek izvēlēts pēc saskaņošanas nosacījumiem ($\Delta t = 0,25 \div 0,6$ s) atkarībā no RA tipa, īsslēguma strāvas aplēses vērtības, ka arī no blakusapakšstacijas primāras shēmas.
- Jūtības nodrošināšana pie īsslēguma uz blakusapakšstacijas kopnēm pie nosacījuma, ka minimālais režīms ir uz savas apakšstacijas kopnēm, bet maksimālais režīms ir uz blakusapakšstacijas kopnēm (jūtības koeficients 1,5).

DA 3-ās pakāpes iestatījumu izvēles nosacījumi.

- Saskaņošana ar DA otrām nostrādes pakāpēm visām PEL, kuras atiet no blakusapakšstacijas kopnēm pie īsslēgumiem no tās atejošo PEL pretējos galos, ka arī ar blakusapakšstacijas DA atbilstošām pakāpēm transformatoriem (autotransformatoriem), kuru darbības zona virzīta no kopnēm uz transformatoru (autotransformatoru) pie īsslēguma aiz tiem (augstākā, vidējā vai zemākā sprieguma pusē, tai skatā pie īsslēguma kaskādveidīgas atslēgšanas.

$$(R + jX)_{nostr_PEL} \leq k_{sask} \cdot \left(Z_L + \frac{I_b}{I_p} \cdot Z_{iest} \right); \quad (2.3.3.)$$

$$(R + jX)_{nostr_AT} \leq k_{sask} \cdot \left[Z_L + \frac{I_b}{I_p} \cdot (Z_{iest_AT} + Z_{AT}) \right]; \quad (2.3.4.)$$

kur:

k_{sask} – saskaņošanas koeficients pēc pretestības (nosaka DA 3-ās pakāpes nostrādes robežas, ņemot vērā mērmaiņu, distantorgānu un elektrotīkla parametru kļūdas) – 0,85±0,9;

Z_L – PEL pilnā pretestība ($R+jX$);

I_b – fāzes strāva, kura tiek nomērīta uz atejošās PEL no blakusapakšstacijas kopnēm, ar kuru notiek saskaņošana pēc pretestības; vai fāzes strāva, kura tiek nomērīta transformatora (autotransformatora) tajā sprieguma augstākajā pusē, kurā uzstādīta DA;

I_p – fāzes strāva, kura tiek nomērīta uz atejošās PEL no savas apakšstacijas kopnēm;

Z_{iest} – atejošās PEL no blakusapakšstacijas DA 2-ās nostrādes pakāpes iestatījums, ar kuru notiek DA 3-ās pakāpes iestatījuma saskaņošana pēc pretestības;

Z_{iest_AT} – blakus a/st transformatora (autotransformatora) DA atbilstošs iestatījums zemākā sprieguma pusē, ar kuru notiek DA 3-ās pakāpes iestatījuma saskaņošana;

Z_{AT} – transformatora (autotransformatora) pretestība.

- Saskaņošana ar ZSA otrām pakāpēm visām PEL, kuras atiet no blakusapakšstacijas kopnēm, ka arī uz blakus a/st ZSA atbilstošām pakāpēm transformatoriem (autotransformatoriem), kuru darbības zona virzīta no kopnēm uz transformatoru (autotransformatoru) pie īsslēguma aiz tiem (augstākā, vidējā vai zemākā sprieguma pusē), tai skaitā pie īsslēgumu kaskādveidīgas atslēgšanas.

$$(R + jX)_{nostr} \leq k_{sask} \cdot Z_{apr}; \quad (2.3.5.)$$

kur:

k_{sask} – saskaņošanas koeficients pēc pretestības (nosaka DA 3-ās pakāpes nostrādes robežas, ņemot vērā mērmaiņu, distantorgānu un elektrotīkla parametru kļūdas) – 0,85±0,9;

Z_{apr} – aplēses pilnā pretestība ($R+jX$) pie īsslēguma ZSA 2-ās pakāpes darbības pakāpes beigās uz atejošās PEL no blakusapakšstacijas PEL, ja nullsecības strāvas aplēse tiek veikta maksimālā režīmā no savas apakšstacijas pusēs pie minimālā režīma blakusapakšstacijā.

ZSA 3-ās pakāpes izvēles nosacījumi.

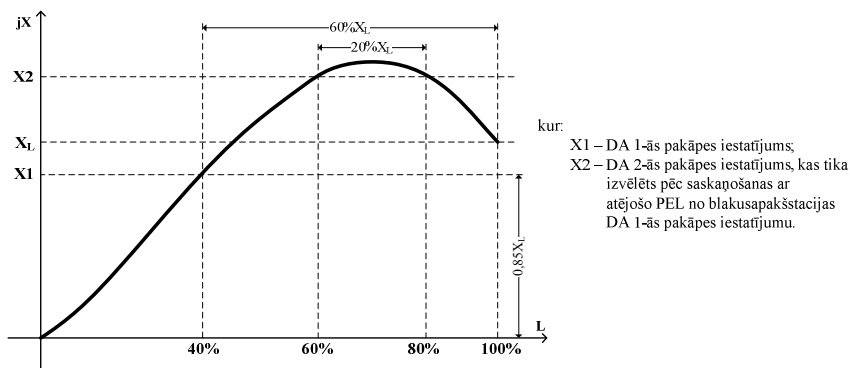
- Saskaņošana ar DA un ZSA otrām pakāpēm visām PEL, kuras atiet no blakusapakšstacijas kopnēm, pēc nullsecības strāvu sadalījuma koeficientiem pie īsslēgumiem uz zemi uz tām.

Saskaņošanas nosacījumi: minimālais režīms uz blakusapakšstacijas un maksimālais režīms uz savas apakšstacijas kopnēm.

- Saskaņošana ar blakusapakšstacijas DA un ZSA atbilstošām pakāpēm transformatoriem (autotransformatoriem), kuru darbības pakāpes virzītas no kopnēm uz transformatoru (autotransformatoru) pie īsslēguma aiz tiem (augstākā, vidējā vai zemākā sprieguma pusē), atkarībā no tā, kādā sprieguma elektrotīkla tiek veiktas DA un ZSA iestatījumu izvēles aplēses.

DA jutības palielināšanas iespējas divķēžu 330 kV PEL.

Divķēžu 330 kV PEL gadījumā, kuras savstarpēji savienotas pa fāzēm un pieslēgtas pie kopnēm katrā galā caur vienu jaudas slēdzi katrai fāzei, tika veiktās īsslēguma strāvu aplēses ik pa 10% no PEL garuma ar un bez pārējas pretestības īsslēguma vietā, ievērojot, ka pa PEL plūst maksimāli-pieļaujamā jauda (kā vienā, tā arī otrā virzienā).

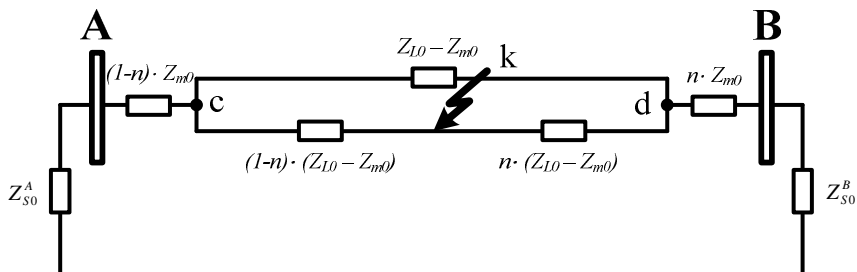


Att. 2.3.1. Reaktīvas pretestības aplēses vērtības atkarībā no īsslēguma vietas uz vienas no divķēžu 330 kV PEL.

No Att. 2.3.1. redzams, ka DA pirmā pakāpe aptver tikai 40% no visa PEL garuma, otrā pakāpe neaptver PEL posmu no 60% līdz 80%, un tikai trešai nostrādes pakāpei nepieciešamo jutības līmeni (visā PEL garuma) var nodrošināt, bet ar ievērojami lielāku laika iestatījumu.

Lai noteiktu īsslēguma aplēses shēmu pie vienfāzes īsslēguma punktā «K» jāpārveido trīsstūra shēma zvaigznes shēmā gan tiešsecības (pretsecības) aizvietošanas shēmā, gan nullsecības aizvietošanas shēmā.

Nullsecības aizvietošanas shēmā papildus jāņem vērā savstarpējas induktivitātes pretestība Z_{m0} , tāpēc jāapskata izejas shēma:



Att. 2.3.2. Īsslēguma nullsecības aizvietošanas shēma.

Ir jāveic divķēžu PEL optimāla garuma noteikšanas analīze, lai noteiktu pie kādiem PEL garumiem ir pieļaujama to savstarpēja savienošana tikai pa galiem. Tādos gadījumos, ja divķēžu PEL ir garāka par pieļaujamo pēc DA pirmās pakāpes jutības kritērija, var rekomendēt izveidot uz divķēža PEL papildus fāžu savstarpējus savienojumus, kuri nodrošinātu DA pirmo pakāpi jutības zonu savstarpējo pārklāšanos vismaz par 20%.

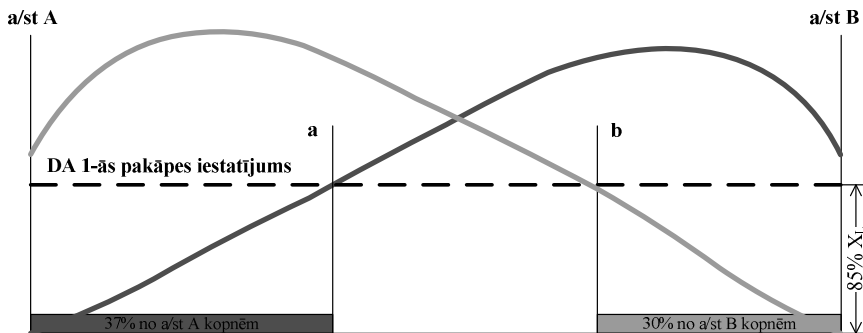
DA jutības palielināšanas iespējas divķēžu PEL, izmantojot fāžu vadu savstarpējus savienojumus visā PEL garumā.

Par vienu no DA pirmās pakāpes jutības paaugstināšanas iespējam uz divķēžu PEL, kuras savstarpēji savienotas abos galos pie viena jaudas slēdža katrā fāzē no kopņu puses, var apskatīt vairāku savstarpēju savienojumu izveidi visā PEL garumā. Šādas idejas praktiskā realizēšana nav vienkārša un ekonomiski izdevīga.

Lai izveidotu vienotu metodisko pieeju jautājuma risināšanā ir nepieciešams:

- noteikt DA pirmo pakāpi jutības zonu pārklāšanos vismaz par 20%, piem., ja no viena gala pirmā pakāpe aptver 40%, tad no otra gala jāaptver 80% no PEL garuma;
- PEL fāžu vadu savstarpējo savienojumu vietas izskatīt, ievērojot DA pirmo pakāpi jutību no abiem PEL galiem;

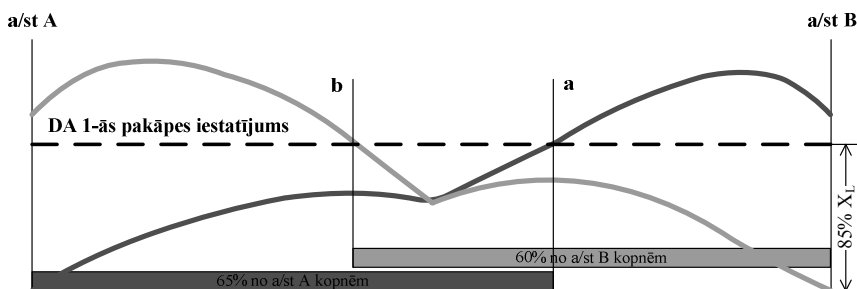
- aplēsēs ņemt vērā maksimāli pieļaujamās aktīvas jaudas plūsmas un reglamentētās pārējas pretestības bojājuma vietā, kas visos gadījumos nevarēs nodrošināt pirmo pakāpi pārklāšanos par 20% (atsevišķos gadījumos pārklāšanos var samazināt līdz 10%).



Att. 2.3.3. Divķēžu PEL pretestības raksturlīknes (abiem PEL galiem), ja savstarpēju fāžu savienojumi ir PEL galos pie trīsfāžu īsslēgumiem.

Pareiza risinājuma meklēšanu jāuzsāk ar pretestības raksturlīknes noteikšanu, ja īsslēgumu vietas tiek pārvietotas no viena gala a/st kopnēm uz otra gala a/st kopnēm.

No Att. 2.3.3. ir redzams, ka pie īsslēguma starp punktiem *a* un *b* DA pirmajai pakāpei nav nodrošināta nepieciešamā jutība, ja DA pirmās pakāpes iestattījums tiek izvēlēts, izmantojot saskaņošanas koeficientu 0,85.



Att. 2.3.4. Divķēžu PEL pretestības raksturlīknes (abiem PEL galiem) ar vienu savstarpēju PEL fāžu vadu savienojumu (PEL vidū) pie trīsfāžu īsslēgumiem.

Vienfāzes īsslēguma gadījumā, pārbaudot DA jutību visā aizsargājamās PEL garumā ir jāņem vērā gan mainīgos elektrotilkla parametrus – avotu pretestības PEL galos, gan nemainīgos parametrus – PEL garumu (pēc kura, savukārt, ir iespējams noteikt savstarpējas induktivitātes iespaidu).

2.4. Distantaizsardzības un zemesslēguma strāvas aizsardzības iestatījumu izvēle tālai rezervēšanai.

DA 4-ās pakāpes iestatījumu izvēles nosacījumi.

- Saskaņošana ar trešām un ceturtām DA pakāpēm uz atejošām PEL no blakusapakšstacijas, ka arī ar attiecīgajām transformatoru (autotransformatoru) DA pakāpēm, kuru darbības pakāpes virzītas no kopnēm uz transformatoru (autotransformatoru) pie īsslēguma aiz tiem.

Nostrādes nosacījumi, saskaņojot ar PEL DA iestatījumiem, atejošām no blakusapakšstacijas:

$$(R + jX)_{nostr_PEL} \leq k_{sask} \cdot \left(Z_L + \frac{I_b}{I_p} \cdot Z_{iest} \right); \quad (2.4.1.)$$

Nostrādes nosacījumi, saskaņojot ar transformatoru (autotransfotmatoru) DA iestatījumiem, atejošām no blakusapakšstacijas:

$$(R + jX)_{nostr_AT} \leq k_{sask} \cdot \left[Z_L + \frac{I_b}{I_p} \cdot (Z_{iest_AT} + Z_{AT}) \right]; \quad (2.4.2.)$$

kur:

k_{sask} – saskaņošanas koeficients pēc pretestības (ņemot vērā DA 3-ās pakāpes nostrādes robežas, mērmaiņu, distantorgānu un elektrotilkla parametru kļūdas) – 0,85÷0,9;

Z_L – PEL pilnā pretestība ($R+jX$);

I_b – fāzes strāva, kura tiek nomērīta uz atejošās PEL no blakusapakšstacijas kopnēm, ar kuru notiek saskaņošana pēc pretestības, vai fāzes strāvas, kura tiek nomērīta blakusapakšstacijas transformatora (autotransformatora) tajā sprieguma pusē, kurā uzstādīta RA, ar kuru notiek DA pakāpes saskaņošana;

I_p – fāzes strāva, kura tiek nomērīta uz PEL no savas apakšstacijas kopnēm, kurai tiek izvēlēta DA 4-ās pakāpes nostrādes zona;

Z_{iest} – blakus PEL DA nostrādes pakāpes iestatījums, ar kuru notiek saskaņošana pēc pretestības;
 Z_{iest_AT} – AT DA no cita sprieguma puses iestatījums, ar kuru notiek saskaņošana pēc pretestības;
 Z_{AT} – transformatora (autotransformatora) pretestība.

- Saskaņošana ar trešām un ceturtām ZSA pakāpēm (šis saskaņošanas veids parasti ir noteicošais pateicoties tam, ka to jutības līmenis ir zemāks salīdzinot ar DA pakāpju jutību) visām PEL, kuras atiet no blakusapakšstacijas kopnēm, ka arī ar blakusapakšstacijas transformatora (autotransformatora) ZSA pakāpēm, kuras virzītas no kopnēm uz transformatoru (autotransformatoru).

$$(R + jX)_{nostr} \leq k_{sask} \cdot Z_{apr}; \quad (2.4.3.)$$

kur:

k_{sask} – saskaņošanas koeficients pēc pretestības (ņemot vērā DA pakāpes nostrādes robežas, mērmaiņu, distantorgānu un elektrotīkla parametru kļūdas) – 0,85÷0,9;

Z_{apr} – aplēstā pilnā pretestība $(R+jX)$ pie īsslēguma uz ZSA atbilstošās pakāpes robežas atejošā PEL no blakusapakšstacijas kopnēm

- DA jutības nodrošināšana rezervēšanas pakāpes beigās (tālā rezervēšana).

$$(R + jX)_{nostr} \geq k_{jut} \cdot Z_{apr}; \quad (2.4.4.)$$

kur:

k_{jut} – jutības koeficients pēc pretestības (ņemot vērā DA pakāpes nostrādes robežas, mērmaiņu, distantorgānu un elektrotīkla parametru kļūdas) – 1,2÷1,3;

Z_{apr} – aplēstā pilnā pretestība $(R+jX)$ līdz bojājuma vietai rezervējamā zonā (rezervējamais elements atslēgts trīsfāzīgi no tālākās blakusapakšstacijas kopnēm), minimālā režīmā savā apakšstacijā un maksimālā režīmā blakusapakšstacijā.

ZSA 4-ās pakāpes iestatījumu izvēles nosacījumi.

- Saskaņošana ar ZSA trešām un ceturtām pakāpēm visām PEL, kuras atiet no blakusapakšstacijas kopnēm, pēc nullsecības strāvas lieluma.

- Saskaņošana ar transformatoru ZSA atbilstošām pakāpēm, kuras virzītas no kopnēm uz transformatoru (autotransformatoru).
- ZSA jutības nodrošināšana rezervēšanas pakāpes beigās (tālā rezervēšana).

$$I_{nostr} \leq \frac{I_{apr}}{k_{jut}}; \quad (2.4.5.)$$

kur:

k_{jut} – jutības koeficients (nosaka ZSA 4-ās pakāpes nostrādes robežas, ņemot vērā mērmaiņu, distantorgānu un elektrotīkla parametru kļūdas) – 1,2÷1,3;

I_{apr} – nullsecības strāvas vērtība pie īsslēguma rezervēšanas pakāpes beigās (rezervējamais elements atslēgts trīsfāzīgi no tālākās blakusapakšstacijas kopnēm), minimālā režīmā savā apakšstacijā un maksimālā režīmā blakusapakšstacijā, vai arī cits režīms pēc SBA nostrādes blakusapakšstacijā.

3. DISTANTAIZSARDZĪBAS RELEJA ATSEVIŠĶU ELEMENTU IESTATĪJUMU IZVĒLES REKOMENDĀCIJAS

3.1. Distantaizsardzības bloķēšanas pie svārstībām izmantošana.

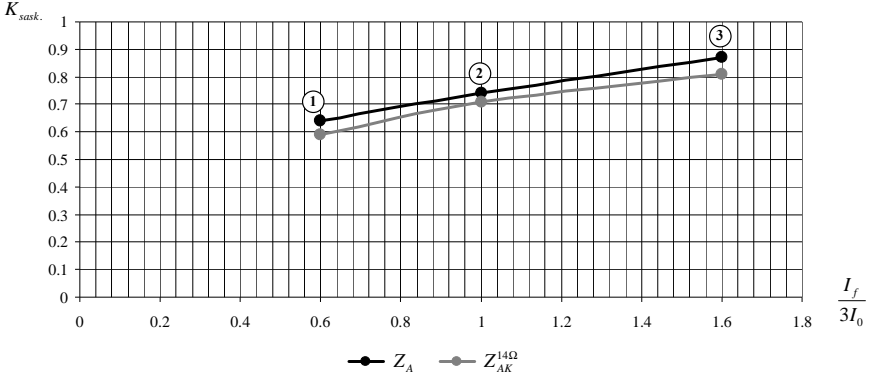
Ir zināms, ka bloķēšana pie svārstībām DA ir papildelements, kas samazina tās drošas nostrādes līmeni, piem., gadījumā, ja pie asinhronas gaitas rodas īsslēgums caur lielu pārejas pretestību (pārklāšanās uz augošu koku vai krūmu visās trijās fāzēs). Tāpēc bloķēšanas izmantošanai jābūt pamatotai. DA pakāpes nostrāde pie asinhronas gaitas ir iespējama tikai tad, ja elektriskais svārstību centrs atrodas atbilstošā DA nostrādes zonā, un DA pakāpes nostrādes laiks ir mazāks par 2÷3 s. Elektriskā svārstību centra izveidošanās elektrotīklā pie asinhronas gaitas atbilst trīsfāžu īsslēgumam tajā.

3.2. Pārvades elektrolīnijas nostrādes raksturlīknes optimizācija.

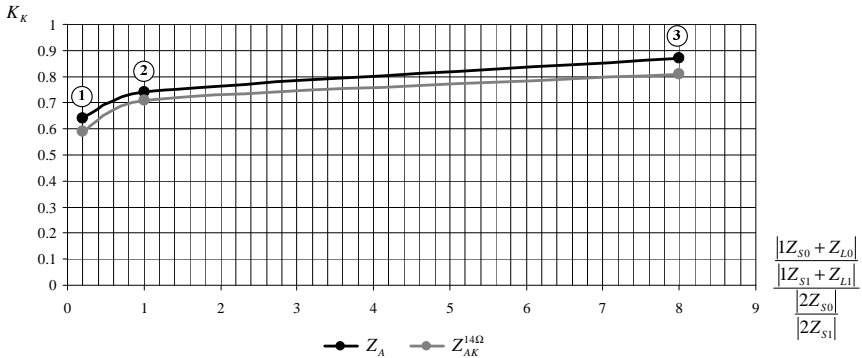
Praktiskas aplēses apstiprina, ka atkarībā no režīma uz a/st B kopnēm, DA pirmās pakāpes nostrādes zona var izmainīties par 10% un vairāk. Jāņem vērā, ka nav pieņemts izmainīt DA pirmās pakāpes iestatījumu atkarībā no režīma, tāpēc noteicošam tā izvēlē jābūt režīmam, kurā strāvu attiecība ir vismazākā (< 1).

Protams, režīmos, kad strāvu attiecība ir lielāka par 1, DA pirmās pakāpes nostrādes zona neaptvers 85% no PEL garuma.

Melnā raksturlīkne atbilst nekompensētas bojātas fāzes pretestībām, bet pelēkā atbilst kompensētas bojātas fāzes pretestībām pie vienfāzes īsslēguma ar reglamentēto pārējas pretestību (14Ω) bojājuma vietā.



Att. 3.2.1.



Att. 3.2.2.

No pretestības aplēšu rezultātiem pie vienfāzes īsslēguma uz a/st B kopnēm ir redzams, ka noteicošais DA pirmās pakāpes izvēlei ir trešais variants. Pārējos divos variantos DA pirmās pakāpes jutība būs nepietiekoša.

3.3. Distantaizsardzības palaišanas orgāna iestatījumu izvēle.

DA palaišanas orgāna iestatījuma izvēles īpatnības.

Slodzes pretestību vektoru zona parādīta, kā DA palaišanas orgāna nostrādes izgriezums. DA nejutības zonas (izgriezuma) iestatījumi līdz šim tika aplēsti, ņemot vērā maksimālo leņķi (φ_{slodz_max}) un slodzes minimālo pretestību (R_{slodz}), pielietojot saskaņošanas koeficientu 0,9.

$$Z_{slodz} = \frac{U_{min}}{\sqrt{3} \cdot I_{max}}; \quad (3.3.1.)$$

$$R_{slodz} = k_{sask} \cdot (Z_{slodz} \cdot \cos \varphi_{slodz_max}); \quad (3.3.2.)$$

kur:

- U_{min} – sprieguma minimālā vērtība;
- I_{max} – slodzes strāvas maksimālā vērtība;
- φ_{slodz_max} – slodzes leņķa maksimālā vērtība;
- k_{sask} – saskaņošanas koeficients (0,9).

Lai noteiktu slodzes pretestību pakāpes iestatījumu izvēles ierobežojumus ir nepieciešams ņemt vērā visas slodzes pretestību vektoru vērtības, t. sk., gan bojātas, gan nebojātas fāzes pretestības vektorus pie kaskādveidīgas īsslēguma atslēgšanas no viena PEL gala, gan augstāka sprieguma PEL nepilnfāzu režīmu, ja augstāka sprieguma PEL šuntē zemāka sprieguma PEL elektrotīklu.

3.4. Distantaizsardzības telepaātrināmās pakāpes iestatījumu izvēle.

DA telepaātrinājuma veida izvēles pamatnosacījumi.

Pretestības vektoru izvietojums kompleksajā plaknē ļauj noteikt, kādos gadījumos jāpielieto DA telepaātrinājums ar atļāvējprincipu, un kādos – bloķētājprincipu. Atļāvējprincipis ir ātrdarbīgs un selektīvs visos gadījumos, ja DA pirmās pakāpes no abiem PEL galiem pārklājas vismaz ar koeficientu 1,2. Gadījumā, ja paralēlais gredzenveidīgais elektrotīkls starp a/st A un a/st B ir pietiekoši garš (vairāk par 250 km) ar vairākām sērijā slēgtām PEL, ir lietderīgi atļāvješignāla formēšanai izmantot DA speciālās pakāpes palaišanas faktoru.

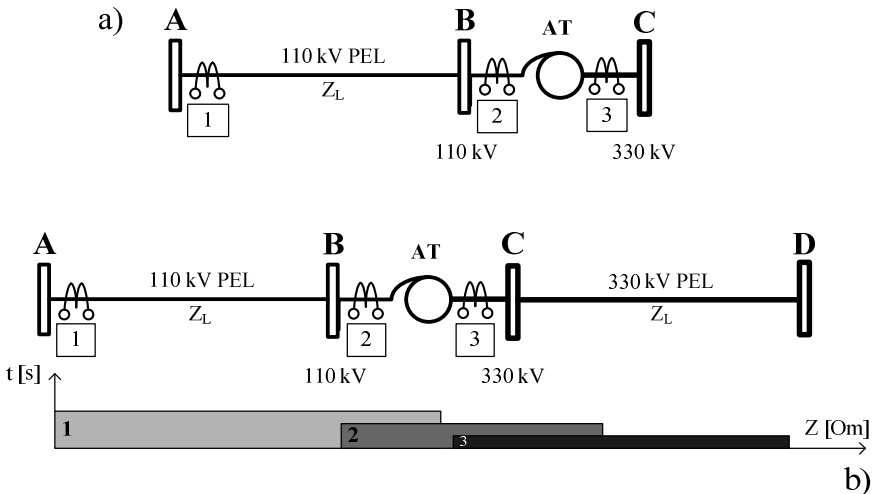
Telepātrinājuma signāla – atļāvējsignāla vai bloķētājsignāla izvēles nosacījumi.

Telepātrinājuma signāla – atļāvējsignāla vai bloķētājsignāla izvēle ir atkarīga no vairākiem faktoriem: no PEL garuma; ekvivalento tiešsecības un nullsecības pretestību attiecības abos PEL galos; no elektrotīkla un elektrostaciju savstarpējās konfigurācijas, kas izsauc maksimāli pieļaujamās aktīvas jaudas plūsmas pa elektriskiem šķēlumiem; no lielas pārējas pretestības bojājuma vietā pie īsslēgumiem u.c.

4. AUTOTRANSFORMATORU DISTANTAIZSARDZĪBAS IESTATĪJUMU IZVĒLE.

AT DA releju pakāpes saskaņošanas pamatnosacījumi.

DA komplekta, kas tiek uzstādīts AT augstāka vai zemākā sprieguma pusē, katrai tās pakāpei jābūt saskaņotai ar ZSA pakāpēm uz atejošām no a/st PEL atbilstošā elektrotīklā, kā pēc pretestības ar koeficientu $0,85 \pm 0,9$, tā arī pēc laika – selektivitātes pakāpe – $0,4 \pm 0,5$ s. Att. 12.1. ir parādīti DA un ZSA savstarpējas iestatījumu saskaņošanas principi virzienā no 110 kV elektrotīkla uz 330 kV elektrotīklu.

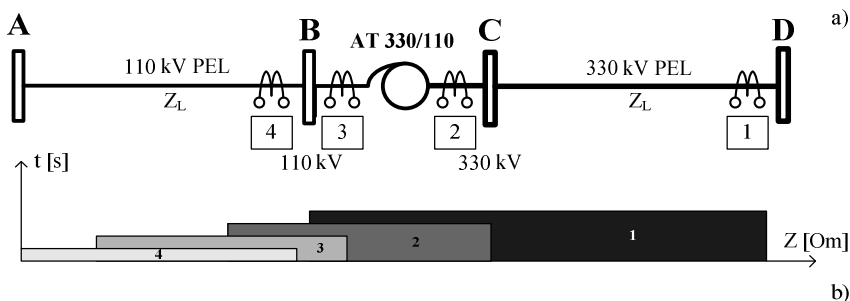


Att. 4.1.

kur:

- 1 – DA un ZSA pirmais komplekts, kurš uzstādīts a/st A uz PEL 110 kV;
- 2 – DA un ZSA otrais komplekts, kurš uzstādīts AT 110 kV pusē - viena vai divas pakāpes virzītas no 110 kV kopnēm uz AT 330 kV pusi;
- 3 – DA un ZSA trešais komplekts, kurš uzstādīts AT 330 kV pusē – divas vai trīs pakāpes virzītas uz 330 kV elektrotīkla pusi.

Par savstarpējo AT DA iestatījumu saskaņošanas principiem.



Att. 4.2.

kur:

PEL;

- 1 – DA un ZSA pirmais komplekts, kurš uzstādīts a/st D uz 330 kV
- 2 – DA un ZSA otrais komplekts, kurš uzstādīts a/st C uz AT 330 kV pusē - viena vai divas pakāpes virzītas no 330 kV kopnēm uz AT 110 kV pusi;
- 3 – DA un ZSA trešais komplekts, kurš uzstādīts a/st B uz AT 110 kV pusē – divas vai trīs pakāpes virzītas no AT uz 110 kV kopņu pusi (pārējās pakāpes – no 110 kV kopnēm uz AT);
- 4 – DA un ZSA ceturtais komplekts, kurš uzstādīts a/st B uz kādas no atejošām 110 kV PEL.

Ja a/st C uzstādīti divi AT 330/110 kV, tad selektivitātes paaugstināšanai var tikt izmantota 110 kV kopņu sajūgslēdža atslēgšana ar otra vai trešā komplekta atbilstošām DA un ZSA pakāpēm. Ja nav iespējams panākt iestatījumu savstarpējo saskaņošanu virzienā no a/st D uz a/st A, tad vispirms neselektīva atbilstošas DA vai ZSA pakāpes darbība ir pieļaujama ceturtnā vai trešā komplektā tai pakāpei, kura darbojas uz 110 kV sajūgslēdža atslēgšanu a/st B. Pirmā komplekta otrās

pakāpes (DA un ZSA) iestatījumus izvēlas pie ieslēgtiem abiem AT 330/110 kV a/st C un a/st B. Izvēlētie otrās pakāpes iestatījumi (pirmām komplektam a/st D) nodrošina to nenostādi pie īsslēguma uz 110 kV kopnēm a/st B. Saskaņošanas koeficienti, kuri nodrošina minēto pakāpju nenostādi ir sekojošie: pēc pretestības – $0,85 \div 0,9$, bet pēc strāvas – $1,2 \div 1,5$ atkarībā no tā vai strāvas elementa nostādes funkcija nav (ir) atkarīga no līdzstrāvas komponentes.

5. VIENFĀZES VAI TRĪSFĀŽU AUTOMĀTISKĀS ATKALIESLĒGŠANAS IESTATĪJUMU IZVĒLE.

110÷330 kV elektrotīklā uz PEL parasti neuzstāda šuntējošus reaktorus PEL ģenerētās reaktīvas jaudas kompensēšanai. Tieši tāpēc loka dzišanas apstākļi pie vienfāzes īsslēguma ir labāki, salīdzinot ar 500 kV PEL. Īsām PEL loka dzišanas laiks nav lielāks par 0,05 s, bet garām PEL (>100 km vai $2Z_L$) tas var sasniegt $0,4 \div 0,6$ s, bet atsevišķos gadījumos pat 2,5 s un vairāk. Pēc 330 kV elektrotīkla statistiskiem datiem sekmīgo VAAI procentuālais skaits sastāda līdz 70-80% no visiem vienfāzes īsslēguma gadījumiem, bet paši vienfāzes īsslēgumi sastāda 80% no visiem īsslēgumiem (vislielākais īsslēguma skaits uz PEL). Tāpēc VAAI izmantošana ir efektīvākais PEL drošas funkcionēšanas palielināšanas veids. VAAI bezstrāvas paūzi parasti izvēlās $0,8 \div 1,0$ s.

PEL ieslēgšanas laikztures nosacījums TAAI, ja PEL tiek ieslēgta ar sprieguma neesamības kontroli uz tās, var noteikt pēc īsslēguma atslēgšanas laikztures no pretēja PEL gala (parasti tas nav lielāks par 1,5 s). Ja nav pieļaujama nesinhrona PEL ieslēgšana, tad TAAI, kā papildus faktoru izmanto frekvenču starpību. Pēc dinamiskās stabilitātes aplēsēm tiek noteikta maksimāli pieļaujamā frekvenču starpība, kura nodrošina stabilu energosistēmas funkcionēšanu pēc TAAI darbības. Baltijas valstu 330 kV elektrotīklā maksimāli pieļaujamā frekvences starpība pie sinhronizēšanas ir 0,1 Hz, pie noteikuma, ka ieslēgšanas leņķis nepārsniedz uzdoto, piem., $\pm 60^\circ$. Eksperimentāli minēto noteikumu izpilde ir pārbaudīta.

DARBA SLĒDZIENI

Par piedāvātās iestatījumu aplēses metodikas sasniegumu var uzskatīt to, ka ir atrasti jauni risinājumi, jo mūsdienu releju aizsardzības komplektu iestatījumu aplēse prasa daudz lielāku informācijas apjomu, lai paaugstinātu selektivitātes, drošuma un ātrdarbīguma prasības, līdz ar to, iestatījumu aplēse un izvēle ir kļuvusi sarežģītāka un apjomīgāka.

Metodikā tiek doti 110÷330 kV elektrotīklu apraksti un shēmas, sagrupētas pēc topoloģijas, kas atstāj iespaidu uz relejaizsardzības iestatījumu izvēli, tiek izskatītas īsslēguma strāvas aplēses pamatprasības, pie kurām relejaizsardzību iestatījumiem ir jānodrošina prasīto ātrdarbīgumu, selektivitāti u.t.t.

Aplēšot RA pirmās pakāpes iestatījumus ir jāievēro vairāki elektrotīkla parametri, kuri līdz šim netika ņemti vērā, kā arī elektrotīkla konfigurācija un īpatnības. Jāņem vērā arī ģeogrāfiskās un klimatiskās īpatnības, kuras var iespaidot pārējas pretestības vērtības īsslēguma vietā, piem., smilšainā vai akmeņainā apvidū pārējas pretestības vērtības bojājuma vietā var ievērojami palielināties. Nepieciešams pievērst uzmanību divķēžu PEL, uz kurām savstarpējās induktivitātes iespaida dēļ nullsecības strāvas vērtība jāaplēš arī pie vienfāzes īsslēguma kaskādveidīgas atslēgšanas uz bojātas PEL, kas, savukārt, var samazināt ZSA pirmās pakāpes jutības diapazonu. Nepieciešams izmantot DA pirmās pakāpes nostrādes raksturliķnes augšējās robežas slīpumu, kas tiek noteikts atbilstoši pieļaujamām slodzēm pa pārvades elektrolīniju u.c.

Piedāvātā aplēses metodika dod iespēju noteikt minimālo (optimālo) savienojumu skaitu uz divķēžu PEL, kuras abos galos pa atsevišķām fāzēm savienotas sava starpā un pieslēgtas pie kopnēm, izmantojot tikai vienu slēdzi katrā fāzē.

Distantaizsardzības un zemesslēguma aizsardzības iestatījumu izvēles nosacījumi tālās rezervēšanas nodrošināšanai šajā metodikā tiek izskatīti, ņemot vērā daudzos nostrādes nosacījumus un saskaņošanas prasības (pie īsslēguma „aiz muguras”).

Distantaizsardzības pakāpes izmantošana kopņu RA rezervēšanai, ka arī tālās rezervēšanas nodrošināšanai no blakusapakšstacijas arī tiek izskatīta trijos pielietojuma variantos, kas ļauj izvēlēties pēc iespējas selektīvākus un precīzākus iestatījumus.

Šajā metodikā dotas rekomendācijas distantaizsardzības bloķēšanai pie svārstībām izmantošanai (vai neizmantošanai), bloķēšanās prasības un kritēriji. Elektriskā svārstību centra aplēses piemērs palīdz noteikt tā izvietojumu robežas

elektrotīklā pie dažādām elektrotīkla konfigurācijām, izmantojot visas iespējamās elektrisko režīmu variācijas.

Metodikā tiek izskatīti distantaizsardzības nostrādes raksturlieknes optimizācijas jautājumi, jo sevišķi pie īsslēgumiem uz zemi, kad nullsecības strāvas vērtības attiecībā pret summāro fāzes strāvu ir mainīga atkarībā no īsslēguma vietas uz pārvades elektrolīnijas. Tika izpētītas summārās nullsecības un tiešsecības pretestību attiecības pie dažādiem elektrotīkla parametriem un to iespaids uz nullsecības un fāzes strāvas attiecību.

Tiek piedāvāti DA pirmās pakāpes saskaņošanas koeficienta izvēles vienādojumi, ņemot vērā PEL un elektrotīkla parametrus.

Distantaizsardzības palaišanas orgāna iestatījumu izvēles nosacījumi, kā arī raksturlieknes izgriezuma nosacījumi pēc maksimālās slodzes vērtības tiek apskatīti īpaši. Praktisko datu izpētes rezultātā ir noteikti šo iestatījumu izvēles nosacījumi pie visām iespējamām elektrotīkla konfigurācijām, tai skaita arī pie kaskādveidīgas PEL atslēgšanas (vienas no divķēžu PEL, ka arī vienas no trim fāzēm).

Izstrādātās rekomendācijas ļauj izvēlēties iestatījumus ar lielāku precizitāti, ka arī novērst distantaizsardzības kļūdainu darbību maksimālos slodzes režīmos.

Pielietojot šos metodikas ieteikumus un ievērojot rekomendācijas, telepaātrināmās pakāpes iestatījumu izvēle ir daudz aptverošāka un nodrošina gan selektivitāti, gan ātrdarbīgumu, gan nostrādi.

Pielikumā apskatītie piemēri apstiprina izvēlēto iestatījumu autotransformatoriem un PEL drošumu un selektivitāti sazarotā elektrotīklā ar elektrisko režīmu daudzveidību.

TĒMAS NĀKOTNES ATTĪSTĪBAS PERSPEKTĪVAS UN CITI PIELIETOJUMI

- Distantaizsardzību ar sarežģītām nostrādes raksturlīknēm iestatījumu izvēles optimizācija prasa apjomīgas īsslēgumu strāvu un spriegumu aplēses, lai ievērotu visus iespējamus elektriskos režīmus un elektrotīkla topoloģijas variantus. Izstrādāta metodika dod iespēju minimizēt īsslēgumu strāvu un spriegumu aplēšu daudzumu.
- Tā kā elektrotīklā ir iespējamās gan šķērsnesimētrijs, gan garennesimētrijs nepieciešams papildus distantaizsardzībām paredzēt arī zemesslēguma aizsardzības. Aktuāls jautājums – panākt šo abu aizsardzību iestatījumu savstarpējo selektivitāti, izstrādājot to savstarpējās saskaņošanas metodiku.
- Nepieciešams turpināt izpēti par īsslēguma pretestību atkarību no pārējas pretestības lieluma īsslēguma vietā un maksimāli pieļaujamām jaudas plūsmām pa dažāda garuma pārvades elektrolīnijām ar atšķirīgām ekvivalentām pretestībām pa pārvades elektrolīniju galiem.
- Eksperimentālo īsslēgumu strāvu salīdzināšana ar aplēstām, lai turpināt optimizēt šajā metodikā izstrādātās prasības atsevišķu elektrotīkla elementu parametru aplēsei un modelēšanai, novēršot atšķirības.
- Turpināt distantaizsardzību un zemesslēguma strāvas aizsardzības iestatījumu automātiskas izvēles algoritma un programmas izstrādi.