

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Emilijus Strelcovas

110 KV LINIJŲ DISTANCINĖS APSAUGOS TYRIMAS
Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. L. Buivis

ŠIAULIAI, 2007

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU:

Katedros vedėjas

Doc. dr. T. Šimkevičius

2007 06

110 KV LINIJŲ DISTANCINĖS APSAUGOS TYRIMAS
Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. L. Buivis

2007 06

Atliko

EM-5 gr. stud.

E. Strelcovas

Recenzentas

ŠU Technologijos fakulteto

Elektros inžinerijos katedros

doc. dr. T. Šimkevičius

2007 06

ŠIAULIAI, 2007

Magistro darbo vadovo išvados dėl darbo gynimo:

.....
.....
.....

.....
(data)

.....
(v., pavardė)

.....
(parašas)

Magistro darbas įteikiamas gynimo komisijai:

.....
(data)

.....
(Gynimo komisijos sekretorės parašas)

Magistro darbo recenzentas:

.....
(v., pavardė)

Magistro darbų gynimo komisijos įvertinimas:

.....

Komisijos pirmininkas:

Komisijos nariai:

Emilijus S. Investigation of 110 kV line remote protection: Master thesis of energy engineer/research advisor Assoc. Prof. Dr. L. Buivis; Šiauliai University, Technological Faculty, Electrical Engineering Department. – Šiauliai, 2007. – 44 p.

SUMMARY

Current productions of remote protection are set for simplification of its construction and amplification of reliability. Despite some shortcomings, remote protection is the best protection from interleg short circuits in order to protect lines of high voltage and still remain with the proper and speedy functioning.

It is successfully used as the main means of protection in lines of great and medium length.

Considering the fact that microprocessor protection fails not so frequently as electromechanical one, it would be wise to substitute the old protection with the new one. The price of microprocessor protection exceeds the price of electromagnetic relay protection many times. However, the use of microprocessor protection ensures a much better protection of electro technical equipment. Of course, from the financial point of view, such reconstruction is not so quick to pay dividends, but the accidents may cost more. Taking in consideration the state of protective devices and other equipment while planning reconstruction succession, it is very important to decide upon the significance of substation in system, to measure the level of its equipment wear, approximate workload, safety, reliability and risk level.

It is recommended to pay intensive attention to the attendant staff, as a number of serious mistakes occur due to the lack of competence. While planning reconstruction in electric substations and implementing new microprocessor protection it is necessary to give proper instructions to the personnel (special courses). The personnel should get acquainted with the new changes. It is the only way to avoid mistakes that occur due to the human factor.

TURINYS

IŽANGA.....	9
1. ISTORIJA, ESAMA PADĖTIS.....	10
2. SUTRIKIMŲ AUKŠTOSIOS ĮTAMPOS LINIJOSE ANALIZĖ.....	13
2.1 Avarinės situacijos, jų priežastys ir pasekmės.....	13
2.2 Sutrikimų aukštosios įtampos linijose prevencija.....	14
2.2.1 Bendri reikalavimai ir rekomendacijos.....	14
2.2.2 Duomenų valdymas.....	15
2.2.3 Sutrikimų stebėseną.....	16
2.2.4 Naujos besivystančios technologijos.....	16
2.3 Žmogiškojo faktoriaus įtaka apsaugų veikimo patikimumui.....	16
2.4 Sisteminės avarijos tikimybė Lietuvoje.....	18
2.5 Išvados.....	19
3. DISTANCINIŲ APSAUGŲ VIETA RAA.....	21
3.1 110 kV įtampos linijų apsaugos.....	21
3.2 Išvados.....	23
4. DISTANCINIŲ APSAUGŲ TIPŲ APŽVALGA.....	24
4.1 Distancinės apsaugos charakteristikos kompleksinėje plokštumoje.....	24
4.2 Pilnos varžos nekryptinė distancinė apsauga.....	26
4.3 Pilnos varžos kryptinė distancinė apsauga.....	27
4.4 Distancinė apsauga su apskritimo formos charakteristika ir poslinkiu.....	27
4.5 Distancinė apsauga su elipsės formos charakteristika.....	29
4.6 Reaktyvios varžos distancinė apsauga.....	30
4.7 Distancinė apsauga su daugiakampio formos charakteristika.....	30
4.8 Išvados.....	31
5. DISTANCINĖS APSAUGOS SU DAUGIAKAMPE CHARAKTERISTIKA VEIKIMAS.....	32
5.1 Nulinės sekos srovės kontrolės įtaka.....	32
5.2 Distancinės apsaugos darbinės zonos.....	35
5.3 Distancinės apsaugos tikrinimas.....	36

6. PASTOČIŲ REKONSTRUKCIJŲ PAGRINDIMAS.....	43
6.1 Elektros įrenginių patikimumas.....	43
6.2 Perdavimo tinklas.....	44
6.3 Investicinio projekto pagrindimas.....	50
7. IŠVADOS.....	53
8. LITERATŪRA.....	55
PRIEDAI	

LENTELĖS

5.1 lentelė. Apsaugos nuostatai

5.2 lentelė. A-N fazė - žemė

5.3 lentelė. B-N fazė - žemė

5.4 lentelė. C-N fazė - žemė

6.1 lentelė. 110 ir 330 kV tinklo duomenys

6.2 lentelė. 110 kV linijų apsaugos

6.3 lentelė. 2005-2016 m. Planuojamos rekonstrukcijos

PAVEIKSLAI

- 2.1 pav. Distancinės apsaugos veikimas per metus
- 2.2 pav. Distancinės apsaugos veikimas per metus
- 4.1 pav. Kompleksinė plokštuma r, jx
- 4.2 pav. Pilnos varžos nekryptinės distancinės apsaugos charakteristika
- 4.3 pav. Pilnos varžos kryptinės distancinės apsaugos charakteristika
- 4.4 pav. Distancinės apsaugos apskritimo formos charakteristika su poslinkiu
- 4.5 pav. Distancinės apsaugos elipsės formos charakteristika
- 4.6 pav. Reaktyviosios varžos distancinė apsauga
- 4.7 pav. Distancinė apsauga su daugiakampio formos charakteristika
- 5.1 pav. Įžemėjimo charakteristika
- 5.2 pav. Įžemėjimo charakteristika I_0/I_2
- 5.3 pav. Trumpas jungimas „fazė-fazė“
- 5.4 pav. Trumpas jungimas „fazė-žemė“
- 5.5 pav. Daugiakampė veikties charakteristika
- 5.6 pav. Distancinės apsaugos charakteristikos
- 5.7 pav. Įmituojamo trumpojo jungimo fazė A - „žemė“ charakteristika
- 5.8 pav. Įmituojamo trumpojo jungimo fazė B - „žemė“ charakteristika
- 5.9 pav. Įmituojamo trumpojo jungimo fazė C - „žemė“ charakteristika
- 6.1 pav. 110 ir 330 kV perdavimo tinklas
- 6.2 pav. Duomenys apie pastočių būklę
- 6.3 pav. Planuojamų rekonstrukcijų išlaidos
- 6.4 pav. Planuojamos išlaidos per metus

IŽANGA

Elektros energetikos sistemos {EES} nuo pat jų atsiradimo rėmėsi naujosiomis technologijomis. Šis šimtmetis joms kelia naujus reikalavimus. Vienas pagrindinių ateities EES tikslų yra elektros tiekimo vartotojams patikimumo ir kokybės užtikrinimas bei totalinių avarių prevencija. Elektros tiekimo patikimumas yra labai svarbus užtikrinant nenutrūkstamą informacinių sistemų ir skaitmeniniais metodais paremtų valdymo sistemų bei įtaisų funkcionavimą. Sprendžiant šias problemas ateityje būtina sukurti bendrą energijos perdavimo struktūrą ir intelektualias elektros energijos gamybos, perdavimo, skirstymo bei vartojimo technologijas. Elektros tiekimo patikimumo užtikrinimo pagrindas yra ilgalaikis ir trumpalaikis EES saugumas. Ilgalaikį saugumą užtikrina pirminių resursų (kuro) nuolatinio tiekimo galimybės, elektros sistemos (generacijos bei tinklų) ir rinkos adekvatumas. Trumpalaikį saugumą užtikrina tinkama EES struktūra bei operatyvinis režimų valdymas. Galima tvirtinti, kad trumpalaikio EES saugumo problemos iki šiol dar nėra tinkamai išspręstos ir ateityje joms turi būti skiriama daug dėmesio.

Šiandien nelabai įsivaizduojame elektros energijos tiekimo be relinės apsaugos ir automatikos {RAA}. Tai distancinė apsauga, maksimalios srovės apsauga, apsauga nuo įžemėjimų, diferencinė apsauga, apsauga nuo švytavimų, automatinis dažninis apkrovos sumažinimas (AND) ir kitos. Vieną svarbiausių vaidmenų atliekanti 110 kV tinkle yra distancinė apsauga. Jai sutrikus, dažnai padaromi ir didžiuliai nuostoliai. Šio tyrimo tikslas yra išsiaiškinti, kodėl atsiranda gedimai. Ką reikia padaryti, kad jų būtų mažiau. Kaip reikia prižiūrėti apsaugas. Kaip spręsti netikėtai iškilusias problemas. Kiek tai kainuoja.

1. ISTORIJA, ESAMA PADĖTIS

Šiandien retas kas gali įsivaizduoti, kaip reikėtų gyventi be elektros. Be elektros nebesugebame ne tik dirbti, bet ir ilsėtis, pramogauti. Elektra tokia svarbi mūsų gyvenime pasidarė dėl to, kad retai atsitinka, kai jos nėra. Didele dalimi, kad spustelėjus jungiklį užsidega šviesa, įsijungia radijas ar televizorius, nulemia patikimai veikianti Lietuvos energetikos sistema. Jos pradžia reikia laikyti 1956 m. lapkričio 11 d., kai 110 kV elektros linija per Jonavą ir Panevėžį sujungė Petrašiūnų ir Rėkyvos elektrines. Petrašiūnų elektrinė tada buvo stambiausia Lietuvoje – net 48 MW, o Rėkyvos – 11 MW.

Energetikos sistema – tai gigantiška žmonių sukurta mašina, kurią sudaro bendru elektros tinklu sujungtos ne mažiau kaip dvi elektrinės ir elektros vartotojai. Elektrinės gali būti viena nuo kitos per dešimtis ar net šimtus kilometrų, bet jos dalyvauja bendrame technologiniame procese, vykstančiame net šviesos greičiu. Todėl būtini energetikos sistemos komponentai yra energetikos sistemos valdymo (dispečerinis) centras ir informacinių technologijų bei telekomunikacijų sistema, aprūpinanti valdymo centrą reikalinga informacija apie elektrinių ir elektros tinklų būvį.

1958 m. lapkričio 2 d. buvo įjungta antroji 110 kV elektros linija Vilnius–Kaunas, kuri prie besikuriančios Lietuvos energetikos sistemos prijungė Vilniaus elektrines. 1960 m. 110 kV elektros linija Šilutė–Sovetskas (Tilžė) – Klaipėda, prijungiama ir Klaipėdos elektrinė. 1960 m. pilna galia pradeda veikti Kauno HE, o 1962 m. gruodžio 30 d. - pirmasis 150 MW blokas Lietuvos elektrinėje. Tokia galia 110 kV elektros tinklui nepakeliama, todėl 1962 m. spalio 12 d. 330 kV elektros linija Jelgava–Šiauliai Lietuvos energetikos sistema sujungiama su Latvijos, o 330 kV elektros linija per Kauną pasiekia ir Lietuvos elektrinę. 1964 m. lapkričio 29 d. 330 kV elektros linija iš Lietuvos elektrinės per Vilnių pasiekia Molodečną – Lietuvos energetikos sistema sujungiama su Baltarusijos, ir tampa sudėtine buvusios Sovietų Sąjungos Šiaurės-Vakarų jungtinės energetikos sistemos dalimi. Šiaurės-Vakarų jungtinę energetikos sistemą valdė Jungtinė dispečerinė valdyba, esanti Rygoje. Elektrinių sujungimas elektros tinklais duoda pastebimą ekonominį efektą, nes energetikos sistemoje jos patikimam darbui užtikrinti reikia laikyti santykinai mažesnę rezervą, nei atskiroje elektrinėje. Didesnis elektros vartotojų skaičius, gaunantis elektrą iš bendro tinklo, elektrinėms sudaro pastovesnę apkrovą, ir jos gali dirbti ekonomiškiau nei po vieną. Be to, didelės energetikos sistemos elektrinėse galima įrengti didesnės galios elektros blokus, kurie yra žymiai ekonomiškiau už mažus. Tai gi, energetikos sistema užtikrina patikimą aprūpinimą elektra ir mažesnę elektros kainą.

Iki paskutinio dvidešimto amžiaus dešimtmečio energetikos sistema sutapdavo su dabar vadinama vertikaliai integruota kompanija. Praeitą dešimtmetį, pradėjus kurti sąlygas konkurencinei elektros rinkai, vertikaliai integruotos energetikos kompanijos buvo pradėtos skaidyti į kelias elektros gamybos (elektrinių), vieną elektros perdavimo sistemos ir vieną ar kelias elektros skirstymo kompanijas. Lietuvoje tai buvo padaryta 2001 m. Nuo 2002 m. už Lietuvos energetikos sistemos patikimą darbą yra atsakinga AB „Lietuvos energija“ kaip elektros perdavimo sistemos operatorė.

Norint užtikrinti saugų ir patikimą sistemos darbą, reikėjo diegti relinės apsaugos ir automatikos sistemas (RAA). Vieną svarbiausių vaidmenų 110 kV linijoje atlieka distancinė apsauga. Iš pradžių Lietuvos energetikos ūkyje buvo diegiamos analoginės apsaugos (elektromechaninių ir puslaidininkinių prietaisų pagrindu). Ir tik neseniai pradėtos naudoti naujos kartos mikroprocesorinės apsaugos. Panaudojus specializuotus mikroprocesorius bei atitinkamą programinę įrangą gaunami įrenginiai, kurie lyginant su iki šiol naudojamomis senos kartos apsaugomis, turi žymių privalumų: didesnis jautrumas ir stabilumas, mažesni gabaritai, aukštesnis patikimumas, paprastesnis nuostatų keitimas, santykinai paprastesnė eksploatacija ir kita.

Tačiau elektromechaninės relės turi savo privalumų ir trūkumų.

Privalumai:

1. Nereikia atskiro maitinimo šaltinio. Relės paveikia nuo matavimo (įtampos ir srovės) transformatorių.
2. Nejautrumas elektromagnetiniams trikdžiams ir trumpalaikiams maitinimo įtampos ar srovės perviršiams (dažniausiai perviršiai būna poveikio priežastimi).
3. Reikalingi žemesnės kvalifikacijos darbuotojai.
4. Pigiau eksploatuoti.

Trūkumai:

1. Spyruoklių nestabilumas. Daugumoje relių poveikio dydis reguliuojamas naudojant spyruoklių įtempimą, kuris nėra pastovus laiko atžvilgiu. Todėl reikia periodiškai, naudojant specialius įrenginius, tikrinti nustatymų tikslumą. Be to, spyruokliavimo jėga dar priklauso nuo aplinkos temperatūros.
2. Mechaninė trintis ir dilimas. Judamos mechanizmų dalys dėvisi, todėl kinta atstumai ir to pasekoje kinta nustatymų tikslumas.

3. Poveikio nestabilumas. Dėl spyruoklių nestabilumo bei trinties ir dilimo poveikio laikui bėgant dydis kinta ir gali skirtis tarp kelių poveikių iš eilės.
4. Mechaniškai užstringa elementai.
5. Yra daug elementų, kurie mažina patikimumą (jungtys, kontaktai, relės).
6. Dideli gabaritai.

Mikroprocesorinių apsaugų diegimą ženkliai stabdo kaina ir pastotys nėra rekonstruojamos taip greitai, kaip reikėtų.

2. SUTRIKIMŲ AUKŠTOSIOS ĮTAMPOS LINIJOSE ANALIZĖ

2.1 Avarinės situacijos, jų priežastys ir pasekmės

Avarinės situacijos atsiranda netikėtai ir dėl labai įvairių priežasčių. Neteisingas apsaugų veikimas, ar jų parinkimas. Aptarnaujančio personalo klaidos. Netinkama įrenginių priežiūra. Per mažas rezervo turėjimas. Yra priežasčių, kurios nuo mūsų nepriklauso – stichijų padariniai.

Šiaurės Amerikoje. 2003 m. rugpjūčio 14 d. dėl totalinės energetikos sistemos avarijos virš 50 mln. gyventojų 8 JAV valstijose ir dviejose Kanados provincijose liko be elektros. Buvo atjungta apie 63 GW galios apkrova - apie 11 procentų Šiaurės Amerikos Rytų jungtinės energetikos sistemos visos apkrovos. Avarijos metu atsijungė per 400 elektros perdavimo linijų, 531 elektros generatorius, 261 elektrinėje.

Avarijos svarbiausios priežastys:

1. Netinkamas energetikos sistemos darbo supratimas. Ataskaitoje nurodyta, kad FirstEnergy (energetikos sistema, kurioje prasidėjo avarija) nesilaikė ilgalaikio planavimo studijos, Ohio valdomos srities įtampų stabilumo analizės rekomendacijų ir naudojo darbo įtampų kriterijus, kurie neatspindėjo realių sistemos savybių ir reikmių. Be to, Rytų Centrinės srities patikimumo koordinavimo sutartyje neužtikrinta pakankamai nepriklausomos FirstEnergy apžvalgos analizė, o kai kurie NERC (Šiaurės Amerikos Elektros Patikimumo Taryba) planavimo standartai buvo gana neaiškūs, ir jie buvo interpretuojami taip, kad privedė prie netinkamo sistemos darbo patikimumo.

2. Netinkamas realios situacijos sistemoje žinojimas. Ataskaitoje nurodoma, kad FirstEnergy neužtikrino sistemos gyvybingumo po neprognozuotų netikėtumų, nes sutriko EMS (energijos valdymo sistema).

3. Netinkama elektros linijų trasų priežiūra. FirstEnergy aukštos įtampos elektros linijų trasose augo per aukšti medžiai, dėl to atsijungė trys 345 kV ir viena 138 kV elektros linijos.

4. Nepakankama Patikimumo koordinatoriaus parama. Sutrikus MISO (Vidurio vakarų nepriklausomas sistemos operatorius) būklės vertintojui ir esant nepakankamai realaus laiko duomenų, MISO laiku nesužinojo FirstEnergy problemų ir nesuteikė pagalbos. Be to, MISO ir PJM neturėjo reikiamų procedūrų ir instrukcijų, kaip ir kada koordinuoti veiksmus, kai pastebi, kad sistemos gyvybingumas yra pažeistas kaimyninėje srityje dėl sutrikimo netoli valdomų sričių ribos.

Pietų Švedijoje ir Rytų Danijoje. 2003 m. rugsėjo 23 d. Pietų Švedijoje ir Rytų Danijoje apie 4 mln. (1,6 mln. Švedijoje ir 2,4 mln. Danijoje) gyventojų liko be elektros. Buvo atjungta 4700 MW apkrova Švedijoje ir 1850 MW Danijoje.

Avarijos svarbiausios priežastys - du, vienas po kito sekę sutrikimai Pietų Švedijoje. Esant nesunkiam Skandinavijos energetikos sistemos režimui, dėl garo sklendės gedimo atsijungė 1200 MW atominės elektrinės blokas Pietų Švedijoje (Oskarshamn). Toks sutrikimas planuojant režimą yra įvertinimas ir sistemos gyvybingumas nebuvo pažeistas. Per 15 minučių elektrinių apkrovos bûtų perskirstytos ir sistema bûtų atstatyta normaliam darbui. Deja, po 5 min. įvyko gedimas 400 kV elektros tinkle ir dėl to atsijungė du po 900 MW blokai Ringhals atominėje elektrinėje, esančioje per 300 km nuo Oskarshamn elektrinės. Dėl to prasidėjo tiek įtampų, tiek dažnio griūtys tiek Pietų Švedijoje, tiek Rytų Danijoje, nes toje sistemos dalyje veikiantys generatoriai galėjo padengti tik apie 30 procentų apkrovos. Todėl per kelias sekundes sistema užgeso.

Avarija Italijoje. 2003 m. rugsėjo 28 d. Italijoje galios deficitas pasiekė 6400 MW, prasidėjo dažnio griūtis. Per 2,5 sekundės Italija užgeso. Tai didžiausia energetikos sistemos avarija Italijos istorijoje.

Avarijos svarbiausios priežastys - dėl elektros iškrovos į medį, augusį po beveik iki pralaidumo ribos apkrauta 380 kV elektros linija tarp Italijos ir Šveicarijos, persikrovė kita elektros linija tarp Italijos ir Šveicarijos. Jos laidai dėl įkaitimo išsvyro ir įvyko elektros iškrova į medį po elektros linija. Jai atsijungus Italija pradėjo prarasti sinchronizmą ir buvo atjungta nuo kaimyninių sistemų (Prancūzijos, Šveicarijos, Austrijos, Slovėnijos).

2003 m. didelių elektros tiekimo sutrikimų buvo Londone, Helsinkyje, Čekijoje, bet tai buvo gedimai elektros tinkluose (bet jie nesutrikdė energetikos sistemų darbo), dėl kurių daug vartotojų liko be elektros .

2.2 Sutrikimų aukštosios įtampos linijose prevencija

2.2.1 Bendri reikalavimai ir rekomendacijos

Kad išvengtų elektros energijos tiekimo sutrikimų reikia:

1. Politikos lygyje reikia aiškumo, kokios reikalingos sąnaudos ir investicijos (įskaitant ir investicijas naujoms technologijoms) didelių sistemų patikimumui užtikrinti, ir kaip tos sąnaudos turi būti padengtos per perdavimo kainas.
2. Sekti rekomenduotų veiksmų patikimumui pagerinti įgyvendinimą.

3. Operatoriai, kurie inicijuoja vartotojų atjungimą (nukrovimą) pagal patvirtintas instrukcijas, turi būti apsaugoti nuo atsakomybės ar represalijų.
4. Sistemos operatoriai turi reguliariai treniruotis, atnaujinti žinias apie sistemos atstatymą, užtikrinant jų gerą sistemos atstatymo procedūrų ir geriausios praktikos žinojimą. Pagerinti trumpalaikius ir ilgalaikius apmokymus ir sertifikavimo reikalavimus tiek operatoriams, tiek patikimumo koordinatoriams bei dispečerių pagalbiniam personalui.
5. Įvertinti ir geriau pritaikyti realaus laiko įtaisus operatorių ir patikimumo koordinatorių darbui.
6. Sustiprinti reaktyviųjų galių ir įtampų valdymo panaudojimą visuose regionuose.
7. Privaloma peržiūrėti esamus patikimumo standartų rengimo procesus ir pagreitinti jų pritaikymą galiojantiems standartams.
8. Parengti elektros perdavimo linijų pralaidumo normavimo standartą.
9. Naudoti automatinį apkrovų atjungimą.
10. Automatinio valdymo, tokio kaip automatinis įtampos reguliatorių, ar kur galima, sistemos galios stabilizatorių, panaudojimas turėtų būti generatoriams privalomas.
11. Specialus dėmesys turi būti skirtas įtampų stabilumui. Sistemos patikimumui užtikrinti pagrindinės priemonės yra teisingas reaktyviųjų galių valdymas.
12. Greitas sistemos atstatymas yra labai svarbus minimizuojant sisteminės avarijos žalą visuomenei. Tam turi būti skiriamas dėmesys priemonėms, mažinančioms atstatymo laiką.

2.2.2 Duomenų valdymas

Po sisteminės avarijos pilnesniam ir greitesniam duomenų surinkimui ir analizei reikia:

1. Pagerinti registruojančių įtaisų kalibravimą, ypač nustatant sinchronizavimo laiką.
2. Iš anksto nustatyti reikalavimus teikiamiems duomenims ir standartizuoti duomenų formatus.
3. Iš anksto nustatyti komercinius mechanizmus, tokius kaip konfidencialumo susitarimus.
4. Įsteigti infrastruktūrą centralizuotam avarijų tyrimui padėti.
5. Automatizuoti pranešimų apie sutrikimus priemones.
6. Reikia užtikrinti distancinio valdymo ir telekomunikacijos prietaisų sistemoje perteklių ir jų patikimumą.
7. Turi būti nustatytos procedūros, kaip greitai surinkti duomenis ir išplatinti informaciją apie sisteminės avarijos pasekmes tam, kad informuoti visuomenę, žiniasklaidą ir valdžią apie avarijos priežastis ir atliktus veiksmus žalai sumažinti.

2.2.3 Sutrikimų stebėseną

Geresniam avarijų priežasčių suvokimui ir detaliai analizei sąlygų sudarymui reikia tinkamos sutrikimo stebėsenos. Tai galima pasiekti išplečiant ir patobulinant WAMS (wide area measurement systems) – didelės srities matavimo sistemas. Tam rekomenduojama:

1. Patobulinti WAMS duomenų integracijos, analizės ir pranešimo procesus. Tai turi apimti tiek aptarnaujančio personalo, tiek išteklių plėtrą.
2. Įrengus WAMS Website būtų galima laisvai keisti WAMS duomenimis, dokumentais bei programine įranga. Tai sudarytų sąlygas jo plėtrai.
3. Išplėsti kritinių įvykių ir dinamikos įrašų surinkimą, kad galima būtų nustatyti normalių sistemos savybių diapazoną.
4. Atlikti reikalingas studijas (tame tarpe ir nuosavų reikšmių analizę) teisingai paaiškinti pastebėtas sistemos savybes.
5. Pilnai panaudoti galimus šiuolaikinių HVDC (aukštos įtampos nuolatinės srovės) ir/ar FACTS (lanksčias kintamos srovės perdavimo sistemos) įrenginius tiesiogiai ištirti sistemos reakcija į bandymo signalus.

2.2.4 Naujos besivystančios technologijos

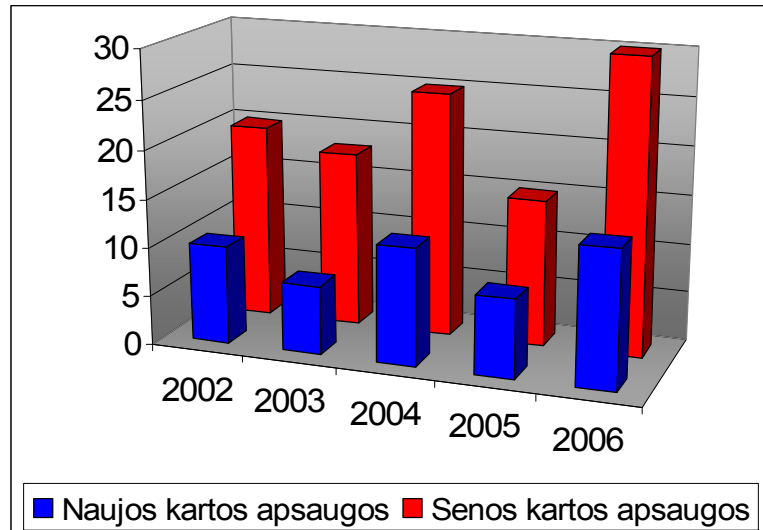
Naujos besivystančios technologijos kurios gali padėti palaikyti energetikos sistemų gyvybingumą yra:

1. Rizika pagrįstas sistemos gyvybingumo vertinimas
2. Koordinuotas avarijų valdymas
3. Sistemos gyvybingumo dinamikos vertinimas realiame laike
4. Adaptyvi relinė apsauga
5. Sistemos stebėseną ir valdymas realiame laike
6. Paskirstytos generacijos technologijos

2.3 Žmogiškojo faktoriaus įtaka apsaugų veikimo patikimumui

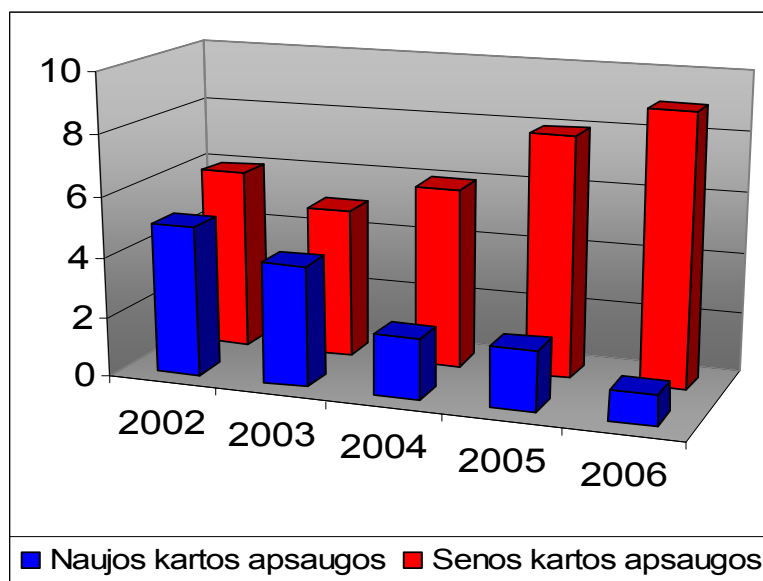
Eksplotacija- tai sudėtinga eksploatuojančio personalo veikla, užtikrinanti saugų ir patikimą apsaugos įrenginių darbą. Yra organizacinės ir techninės priemonės. Jų laikantis teoriškai klaidų turėtų nepasitaikyti. Tačiau praktika rodo ką kitą. Paveiksle 2.1 pateikti duomenys apie

distancinės apsaugos veikimą perdavimo tinklo Šiaulių sk. 2002-2006 metais. Čia yra visi veikimai (teisingi, neteisingi).



2.1 pav. Distancinės apsaugos veikimas per metus

Paveiksle 2.2 pateikiu duomenis apie neteisingus apsaugos suveikimus.



2.2 pav. Distancinės apsaugos neteisingas veikimas per metus

Iš 2.2 paveikslo matome, kad naujos kartos apsaugos ženkliai mažiau suveikia neteisingai, nei senos. Kaip prie to prisideda žmogiškasis faktorius:

Nemažai pasitaiko projektuotojų klaidų. Ypač rekonstruotose skirstyklose. Reiktų didelį dėmesį skirti projektų peržiūrai.

Daug pasitaiko derintojų klaidų. Per mažai laiko skiriama perduodant pastotes eksploatuojančiam personalui. Nespėjama visko patikrinti. Šie defektai dažniausiai pašalinami po pirmutinio pilnutinio patikrinimo (po metų nuo rekonstrukcijos pabaigos).

Nemažai yra eksploatuojančio personalo klaidų. Dažniau turėtų būti apmokomas personalas, periodiškai siunčiamas į kursus, supažindinamas su naujovėmis.

2.4 Sisteminės avarijos tikimybė Lietuvoje

Lietuvos elektros ūkis pertvarkytas. Dabar jo struktūra tokia pat kaip Europos Sąjungos šalyse. Iki šiol Lietuvoje nebuvo tokių ilgalaikių elektros tiekimo sutrikimų, kaip 2003 m. Vakarų šalyse. Ar Lietuvoje gali panašiai nutikti kaip Šiaurės Amerikoje, Italijoje, ar Danijoje? (Sutrikimai Londone, Helsinkyje ar Čekijoje buvo trumpalaikiai, vietiniai ir elektrinių darbo nesutrikdė).

Kol kas tokių sutrikimų Lietuvoje tikimybė labai maža. Atgavus Nepriklausomybę dėl ekonomikos restruktūrizacijos visų pirma žymiai sumažėjo elektros paklausa. Dėl to turime pajėgumų perteklių tiek elektrinėse, tiek elektros tinkluose. Be to, Lietuvos energetikos sistema yra paveldėta iš buvusios Sovietų sąjungos, kur elektros įrenginiai dažnai gesdavo. Todėl patikimas sistemos darbas buvo užtikrinamas naudojant sudėtingesnes elektros tinklų ir pastočių schemas nei Vakaruose, gausesnėmis organizacinėmis priemonėmis įrenginių nepatikimumą kompensuodavo įtemptas specialistų darbas. Energetikai sovietmečiu beveik visą laiką dirbo ekstremaliomis sąlygomis, glaudžiai bendradarbiaudami su kaimynais. Todėl ir pirmaisiais Nepriklausomybės metais, ekonominės blokados laikotarpiu, Lietuvos energetikų pastangomis elektros tiekimas Lietuvoje nebuvo sutrikdytas. Dar daugiau, 1991 m. Lietuvoje buvo pagaminta daugiausia elektros energijos šalies istorijoje, pusantro karto daugiau nei 2003 m.

Per Nepriklausomybės metus didžioji dalis investicijų elektros ūkyje buvo skiriama įrenginių atnaujinimui elektros skirstymo tinkluose, nes jie mažiau apsaugoti nuo gedimų. Perdavimo tinklų elektros įrenginiai seno toliau, iki AB „Lietuvos energija“ reorganizavimo. Tik 2002 m., kai AB „Lietuvos energija“ tapo tik elektros perdavimo bendrove, pradėta sparčiau atnaujinti elektros perdavimo tinklus. 2002 m. buvo rekonstruotos septynios 110 kV pastotės, 2003 m. aštuonios, t. y. per metus daugiau nei per visą Nepriklausomybės laikotarpį. Tokių pastočių yra per 200, dauguma jų pastatytos prieš 1980 m., o jų projektinis amžius 25 metai. Panašaus amžiaus ir elektros perdavimo linijos.

Sparčiau atnaujinti elektros tinklus neleidžia bendrovės finansinės galimybės, t. y. elektros perdavimo tarifas, kuris nesudaro nei 7% elektros kainoje gyventojams. Taigi, ar esami elektros įrenginiai lauks, kol juos atnaujins, ar jie baigs dirbti pagal projektą, nuo to priklauso didelių elektros tiekimo sutrikimų tikimybė.

Nors elektros perdavimo linijos gali dirbti 50–60 metų, Estijoje viena 330 kV atrama, pastatyta 1963 m., nugriuvo 2001 m., sukeldama didelį elektros tiekimo sutrikimą.

Taigi, nors mažas elektros perdavimo tarifas elektros vartotojams, reikia atsiminti, kad netolimoje ateityje jis gali sukelti panašius elektros tiekimo sutrikimus kaip Vakaruose 2003 m. Tai turėtų daugiau rūpėti elektros vartotojams nei Valstybinei kainų ir energetikos kontrolės komisijai ar Ūkio ministerijai (kaip pagrindinei perdavimo tinklų akcijų savininkei), kurios nusprendžia, koks turi būti elektros perdavimo tarifas.

Dauguma Lietuvos elektrinių yra jaunesnės nei elektros tinklai. Uždarius Ignalinos AE, pagrindine elektros gamintoja taps Lietuvos elektrinė, kurios amžius 45 metai. Tai irgi kelia susirūpinimą.

Dėl sparčios Lietuvos elektros energetikos plėtros septintajame ir aštuntajame praeito amžiaus dešimtmetyje labai padaugėjo specialistų elektros ūkyje. Dabar dėl amžiaus, ekonominės situacijos ir permainų elektros ūkyje yra jų trūkumas. Tokia pat bėda ir Vakarų šalyse. Universitetai tiek dėl inercijos, tiek dėl finansinės padėties nespėja pertvarkyti specialistų rengimo naujoms elektros ūkio sąlygoms. Pertvarkytame Lietuvos elektros ūkyje kasdien mažėja specialistų, mokančių dirbti ekstremaliomis sąlygomis, kokios buvo sovietmečiu.

2.5 Išvados

Dideli sutrikimai dažnai kyla iš susijusių įvykių sekos, nors atskirai įvykiai negali sukelti sisteminės avarijos. Kaskadinius atsijungimus dažnai sukelia įrenginių gedimai ar bloga veiksmų koordinacija. Išvada, kad sisteminių avarių priežastys yra:

1. Patikimų realaus laiko duomenų trūkumas;
2. Per mažai laiko imtis ryžtingų ir tinkamų koreguojančių veiksmų;
3. Dažni gedimai pasenusiuose įrenginiuose, todėl esamų pastočių ir kitų įrenginių pagerinimas, juos atnaujinant, reguliariai tikrinant, prižiūrint ir pakeičiant netinkamus elementus, yra svarbi priemonė išvengti atsijungimų. Taip pat specialių apsaugų sistemų naudojimas ir jų gerinimas.

4. Nepakankamas sistemos dispečerių ir jų pagalbinių personalo treniravimas ir jų programų tobulinimas.

5. Pamokos gautos iš praeities klaidų ne visuomet panaudotos naujose procedūrose, jos turi būti naudojamos rengiant naujas, tobulesnes sistemos valdymo ir stebėsenos technologijas.

6. Normalaus planavimo studijos negali apimti visų galimų scenarijų, kurie veda prie sisteminių avarių, dėl jų didelio skaičiaus, galimų neaiškumų ir darbo sąlygų

7. Tikrai automatinio ir koordinuoto valdymo, imantis greitų ir koreguojančių veiksmų, siekiant išvengti sutrikimų, trūkumas.

Daugelį šių problemų gali pašalinti elektros perdavimo sistemų eksploatacijos ir atnaujinimo sąnaudų prioritetų pakeitimas. Siekiant pagerinti sistemų patikimumą mažinant sisteminių sutrikimų riziką, siūlomos tokios keturių lygių rekomendacijos:

- a) elektros energetikos sistemų tyrimui taikomi patikimumo standartai turi būti nuolat tobulinami pagal elektros tinklų ir tarptautinės šiuolaikinės patirties reikalavimus bei technologinius pasiekimus; patikimumo standartai turi būti privalomi ir jų laikomasi, tam gali padėti reikšmingos ir veiksmingos baudos už standartų nesilaikymą;
- b) patikimumo standartai turi būti periodiškai peržiūrimi, įvertinant iš didelių sistemos incidentų gautą patirtį ir naujas technologijas;
- c) reguliuojančioms institucijoms turėtų būti išaiškinta didelių sistemų patikimumui užtikrinti sąnaudų ir investicijų (įskaitant investicijas naujoms technologijoms) reikmė ir kaip tas sąnaudas turi padengti elektros perdavimo kainos;
- d) reguliuojančios institucijos turėtų nuolat skatinti pramonės ir vyriausybių finansuojamus tyrimus elektros sistemų inžinerijoje, kad tinkamai būtų pasitikti nuolat augančių ir sudėtingėjančių pasaulio elektros tinklų iššūkiai.

3. DISTANCINIŲ APSAUGŲ VIETA RAA

3.1 110 kV įtampos linijų apsaugos

110 kV linijų apsaugos ir automatika:

1. Distancinė apsauga 3-6 zonos
2. Įžemėjimo apsauga 4 pakopos
3. Apsaugų pagreitinimas
4. Maksimalios srovės atkirta
5. Maksimalios srovės apsauga (radialinėms linijoms)
6. Blokuotė nuo švytavimų
7. Sinchronizmo kontrolė
8. Automatinis kartotinis įjungimas (AKĮ)
9. Jungtuvo rezervavimo įrenginys (JRI)

Pagrindinės 110 kV linijos apsaugos yra distancinė apsauga ir įžemėjimo apsauga.

Mikroprocesorinėse apsaugose distancinė ir įžemėjimo apsaugos yra viename modulyje.

Distancinės apsaugos saugo visas 110 kV linijas esančias Lietuvoje. Priklausomai nuo tinklo konfigūracijos diegiamos arba abiejose linijos galuose, arba viename. Distancinė apsauga turi modulį, kuris atlieka visus linijos matavimus, bei nusako gedimo vietą

110 kV įtampos tiesiogiai įžemintos neutralės tinklo linijose turi būti įrengti relinės apsaugos įtaisai nuo tarpfazių ir vienfazių trumpųjų jungimų. Prie vienfazių trumpųjų jungimų priskiriami dvifaziai trumpieji jungimai su žeme, kadangi abiem atvejais naudojamos tos pačios apsaugos. Įvykus trumpajam jungimui bet kuriame 110 kV įtampos linijos taške, pagrindinė linijų apsauga turi suveikti neuždelsdama. Greitaveikės 110 kV įtampos linijų apsaugos būtinos sudarant palankias sistemos stabilumo išsaugojimo sąlygas. Apie tai sprendžiama pagal trifazio trumpojo jungimo linijoje metu sumažėjusią elektrinių ir sistemos pagrindinių pastočių šynų įtampą. Greitaveikė apsauga būtina, kai ši įtampa sumažėja iki 60 proc. jos vardinės įtampos ar žemiau.

Parenkant 110 kV linijų apsaugų principus (tipus), kai būtina išsaugoti elektros sistemos darbo stabilumą, turi būti atsižvelgta į šiuos reikalavimus:

1. Nueinančiose nuo atominės elektrinės šynų 110 kV įtampos linijose ir greta esančio tinklo visuose objektuose, kuriuose tarpfazių trumpųjų jungimų metu tiesioginės sekos

liekamoji įtampa atominės elektrinės blokų aukštesniosios įtampos pusėje gali sumažėti iki 45 proc. jų vardinės įtampos ar daugiau, reikia įrengti greitaveikių apsaugų ir jungtuvų išjungimo rezervavimą, turintį trumpesnį nei 1,5 sekundės uždelimą;

2. Trumpieji jungimai, kurių uždelstas išjungimas gali sutrikdyti svarbių elektros vartotojų darbą, turi būti išjungiami nedelsiant (pavyzdžiui, trumpieji jungimai, kai elektrinių ir pastočių šynų liekamoji įtampa mažesnė nei 60 proc. vardinės įtampos, jei linijų uždelstas išjungimas gali sukelti savaiminį apkrovos sumažėjimą dėl įtampos žemėjimo griūties susidarymo, arba trumpieji jungimai, kai liekamoji įtampa lygi 60 proc. vardinės įtampos ar aukštesnė, jei linijų uždelstas išjungimas gali sukelti stambių elektros vartotojų technologijos pažeidimus);

3. Kai yra būtinas greitaveikis AKĮ, linijoje turi būti įrengta ir greitaveikė apsauga, kuri garantuoja greitą sugedusios linijos abiejų galų jungtuvų išjungimą;

4. Kai uždelstas trumpųjų jungimų išjungimą, kurių metu srovės kelis kartus viršija vardinę srovę, laidininkai gali neleistinai perkaisti.

Vienpusio maitinimo pavienėms linijoms turi būti įrengiamos kelių pakopų srovės arba kelių pakopų srovės ir įtampos apsaugos nuo tarpfazių trumpųjų jungimų. Jei jos netenkina jautrumo ar greitaveikės apsaugos reikalavimų arba jei tai palengvina gretimų linijų apsaugų suveikimo laiko charakteristikų suderinimą su nagrinėjamos atkarpos apsaugos parametrais, turi būti numatyta įrengti distancinė apsauga. Kaip papildoma apsauga pastaruoju atveju naudojama greitaveikė srovės atkirta. Apsaugai nuo vienfazių trumpųjų jungimų turi būti įrengiama kelių pakopų kryptinė (ar nekryptinė) nulinės sekos srovės arba distancinė apsauga. Ši apsauga turi būti įrengta tik tuose linijos galuose, prie kurių prijungiamas maitinimas.

Pavienėse linijose, maitinamose iš dviejų arba daugiau pusių (linijos su atšakomis), esant ar nesant apeinamosioms jungtims, taip pat žiedinio tinklo su vienu maitinimo šaltiniu linijose turi būti įrengta distancinė apsauga nuo tarpfazių trumpųjų jungimų, kuri daugeliu atvejų naudojama kaip pagrindinė 110 kV įtampos linijose. Apsaugai nuo vienfazių trumpųjų jungimų turi būti įrengta kelių pakopų distancinė apsauga. 110 kV įtampos linijose reikia įrengti pagrindinę apsaugą, naudojant distancines apsaugas su ryšio kanalais perduodamomis pagreitinimo ar blokuotės komandomis, kai tai tikslinga didinant jautrumą (pavyzdžiui, linijose su atšakomis) arba supaprastinant apsaugą. Nuo tarpfazių trumpųjų jungimų – distancinės apsaugos, o nuo vienfazių trumpųjų jungimų – distancinės apsaugos ar kelių pakopų kryptinės ar nekryptinės įžemėjimo apsaugos.

3.2 Išvados

Distancinė apsauga yra pagrindinė 110 kV linijos apsauga. Kol kas nieko geriau nėra sugalvota. Ši apsauga yra patikaima tiek savo konstrukcia, tiek veikimo principu. Tiek senos kartos, tiek naujos kartos distancinės apsaugos veikia pakankamai tiksliai ir gerai. Distancinės apsaugos pirmoje zonoje ir išžemėjimo apsaugos pirmame laipte veikos laikas lygus nuliui, dar vadinamos greitaveikėmis apsaugomis. Tačiau tiek nuo vienfazinių trumpųjų jungimų, tiek nuo tarpfazinių trumpųjų jungimų 110 kV linijose paveikia distancinė apsauga, o išžemėjimo apsauga tampa kaip rezervinė - nors jos lygegrečiai saugo liniją. Distancinė apsauga yra jautresnė. Jau ne vienoje pastotėje distancinės apsaugos saugo autotransformatorius 110 kV dalyje.

4. DISTANCINIŲ APSAUGŲ TIPŲ APŽVALGA

4.1 Distancinės apsaugos charakteristikos kompleksinėje plokštumoje

Yra keletas distancinės apsaugos charakteristikų tipų. Analoginėse apsaugose dažniausiai naudojamos apskritimo arba elipsės formos charakteristikos. Kai charakteristika kerta koordinatinių ašių ir apima 1,2 ir 4 kvadrantus, tai apsauga saugo tik liniją. Tuomet kai charakteristika apima visus keturis kvadrantus, apsauga saugo netik liniją, bet ir šinas – 3-iame kvadrante veikia „už nugaros“. Mikroprocesorinės distancinės apsaugos dažniausiai naudoja daugiakampę charakteristiką. Apsauga su tokia charakteristika turi platus veikimo diapozoną. Tokiu būdu apsauga prisitaiko prie linijos ypatumų ir reikalavimų.

Suveikties charakteristika yra priklausomybė $z_{veik} = f(\varphi_p)$, kuri apsprendžia vektorių z_p reikšmes ant apsaugos gnybtų esant apsaugai paveikus. Z yra kompleksinis dydis. Yra patogų suveikties charakteristikas ir varžas ant apsaugos gnybtų vaizduoti kompleksinėje

plokštumoje, x, r ašyse 4.1 paveikslas. Apsaugos pilnoji varža $z_p = \frac{U_p}{I_p}$ išreiškiama per

aktyvinę ir reaktyvinę varžas. Išreiškę kompleksiniu dydžiu gauname $z_p = r_p + jx_p$.

Koordinatinių ašyse r, x pavizduota vektoriumi pilnoji varža su koordinatėmis r_p ir x_p 4.1a

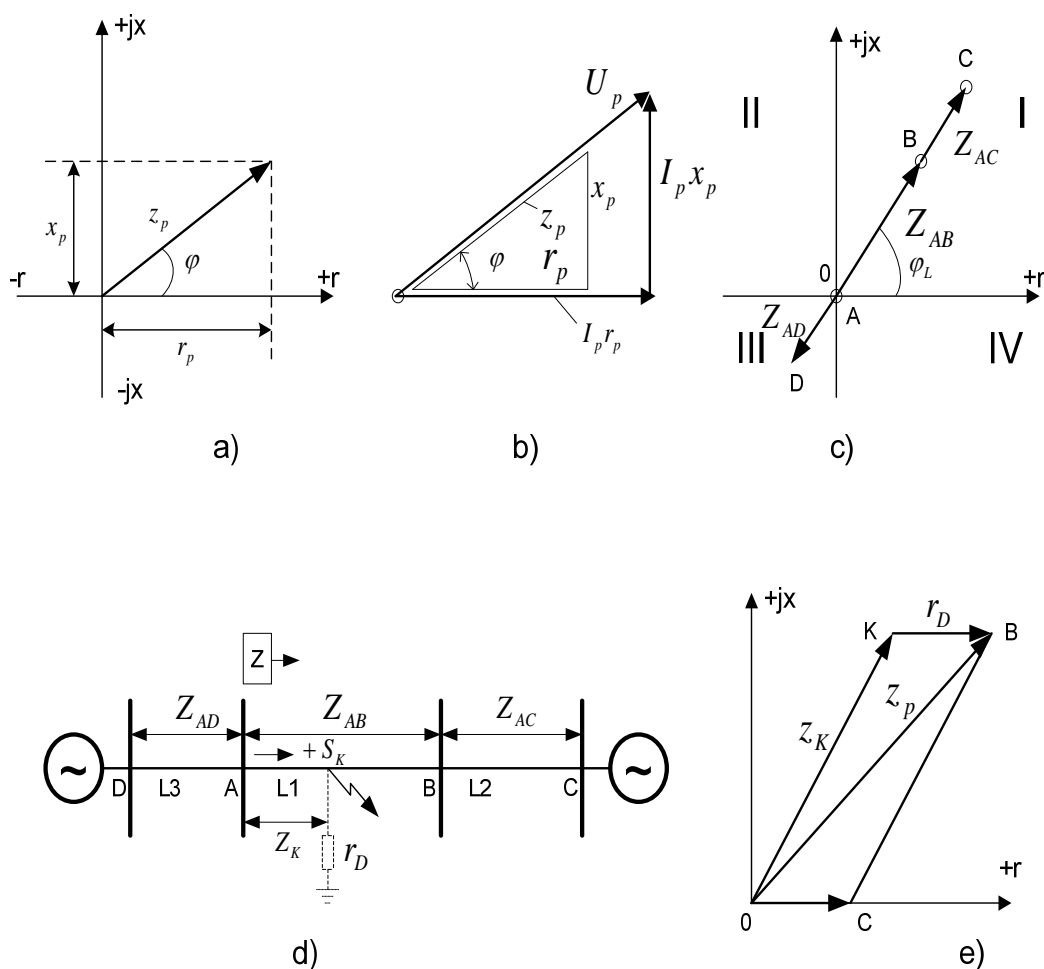
paveikslas. Vektoriaus dydis charakterizuojamas modulių $|z_p| = \sqrt{r_p^2 + x_p^2}$, o kryptis kampu

φ , kuris yra x_p ir r_p santykis, nes $tg \varphi_p = \frac{x_p}{r_p}$. Kampas φ_p lygus fazių poslinkio kampui

tarp tarp vektorių srovės I_p ir įtampos U_p .

Betkurį tinklo ruožą, pavyzdžiui linijos L1, 4.1d paveikslas, galima pavaizduoti r, x ašyse vektoriumi z_L . Žinoma, kad kiekvieną linijos tašką apibrėžia atitinkamos varžos x_p ir r_p .

Jei visų tinklo ruožų varžos yra vienodo kampo φ_L , tai jų geometrinė vieta kompleksinėje plokštumoje yra tiesė, kuri atsilenkusi kampu φ_L r ašies atžvilgiu 4.1c paveikslas.

4.1 pav. Kompleksinė plokštuma r, jx

Apsauga A yra linijos pradžioje ir sutampa su koordinatų pradžia 4.1c ir d paveikslai. Visų tinklo ruožų koordinatės, patenkančios į apsaugos A zoną laikomos teigiamomis ir išdėstytos pirmame plokštumos kvadrante. Koordinatės išdėstytos į kairę nuo taško A laikomos neigiamomis ir išdėstytos trečiame kvadrante. Grafike L1 linijos varža yra atkarpa AB, L2 linijos BC, L3 linijos AD. Apsaugos charakteristika apsprendžia taškų geometrinę vietą, tenkinančią sąlygą $z_p = z_{veik}$. Vidinė charakteristikos dalis, kur $z_p < z_{veik}$, yra apsaugos veikties zona, o išorinė charakteristikos dalis, kur $z_p > z_{veik}$, apsauga neveikia.

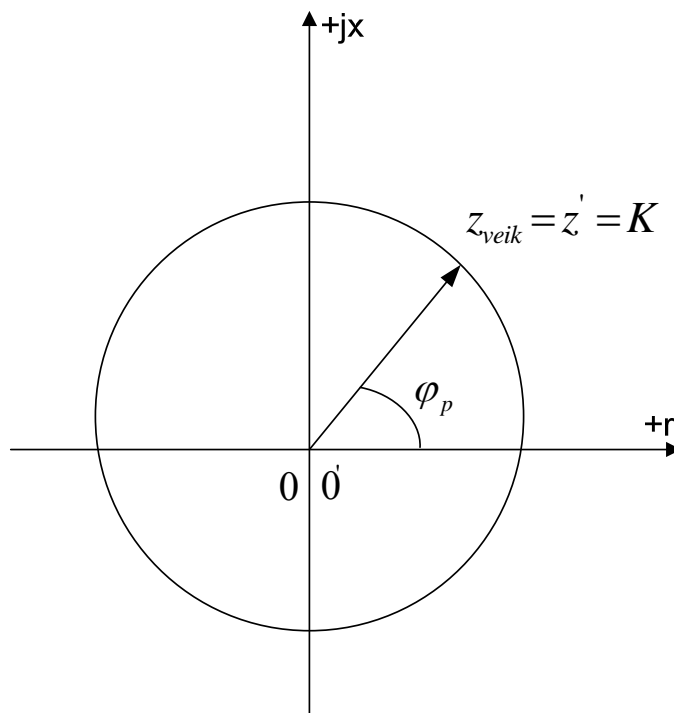
Apsaugos suveikties charakteristika privalo užtikrinti apsaugos veikimą esant trumpajam jungimui, veikties zonos ribose (z'). Kai įvyksta trumpasis jungimas apsaugos varžos

vektorius z_p lygus geometrinei sumai linijos varžos vektoriaus z_k iki pažeidimo vietos K ir elektrinio lanko varžos r_D , kuri atsiranda trumpojo jungimo vietoje $z_p = z_k + r_D$. 4.1e paveiksle atkarpa OK yra linijos varžos vektorius, lygus apsaugos veikties zonai z_k . Atkarpa KB yra elektrinio lanko aktyviosios varžos vektorius. Plokštuma OKBC apibrėžia sritį, kurioje bus vektorius z_p esant trumpajam jungimui. Apsauga veiks trumpojo jungimo metu, jei suveikties charakteristikos pateks į kompleksinės plokštumos sritį, kurioje gali būti varžos vektorius z_p esant trumpajam jungimui linijoje.

4.2 Pilnos varžos nekryptinė distancinė apsauga

Apsaugos suveikimo lygtis

$z_{veik} = K$, kur K - pastovus dydis.



4.2 pav. Pilnos varžos nekryptinės distancinės apsaugos charakteristika.

Šios apsaugos charakteristika yra apskritimo formos, kurio centras yra koordinatinių pradžia, o spindulys lygus K 4.2paveikslas. Apsauga veikia kai $z_{veik} \leq K$ esant betkokiam kampui φ_p tarp vektoriaus z_{veik} ir ašies r . Apsaugos veikimo zona išdėstyta keturiuose kvadratuose.

Tokia apsauga yra nepraktiška, yra nedaug vietų kur būtų galima panaudoti.

4.3 Pilnos varžos kryptinė distancinė apsauga

Jos veikimo charakteristika yra apskritimo formos ir kerta koordinačių pradžia 4.3 paveikslas. z_{veik} priklauso nuo kampo φ_p . Suveikimo varža yra maksimalios reikšmės, kai

$$\varphi_p = \varphi_{mj},$$

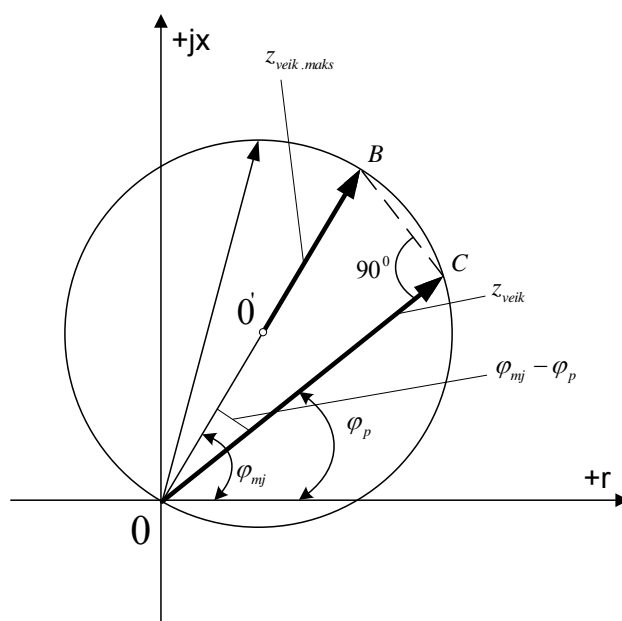
kur φ_{mj} apsaugos maksimalaus jautrumo kampas, kuriam esant $z_{veik} = z_{veik.maks}$, tai yra lygus apskritimo diametru OB.

Šios apsaugos suveikimo priklausomybė nuo kampo φ_p išreikšta lygtimi

$$z_{veik} = z_{veik.maks} \cos(\varphi_{mj} - \varphi_p)$$

Apsauga neveiks jei z_{veik} išsidėstys trečiame kvadrate – apsauga yra kryptinė.

Parktikoje retai naudojama, nes ji neveikia kuomet galia nukreipta į šinas.



4.3 pav. Pilnos varžos kryptinės distancinės apsaugos charakteristika.

4.4 Distancinė apsauga su apskritimo formos charakteristika ir poslinkiu

Apsaugos charakteristika pasislinkusi į trečią kvadrantą dydžiu z'' 4.4 paveikslas.

Ji saugo ne tik liniją, bet ir už apsaugos esančius įrenginius (maitinančias linijas šinas ir tam tikrą ilgį jų prijunginių). Charakteristikos su poslinkiu lygtis:

$$\left| \frac{z' - z''}{2} \right| = \left| z_{\text{veik}} - \frac{z' + z''}{2} \right| = 0.$$

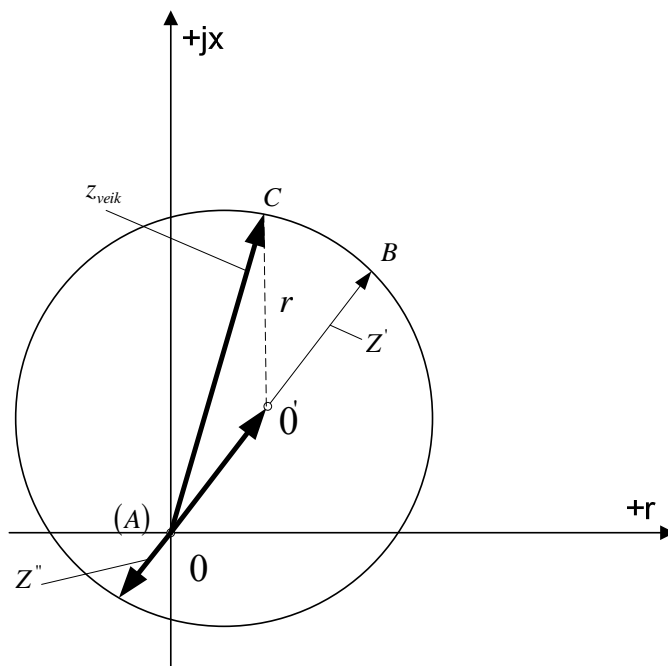
Iš 4.4 pav. matosi kad vektorių $z' - z''$ geometrinis skirtumas yra lygus apskritimo skersmeniui, iš čia

$$\left| \frac{z' - z''}{2} \right| = r.$$

Iš to paties paveikslo matosi, kad $\frac{z' + z''}{2} = O'O'$, tai įvertinus

$$\left| z_{\text{veik}} - \frac{z' + z''}{2} \right| = |C'O' - O'O'| = O'C = r,$$

kur C – betkuris apskritimo taškas; r – apskritimo spindulys.



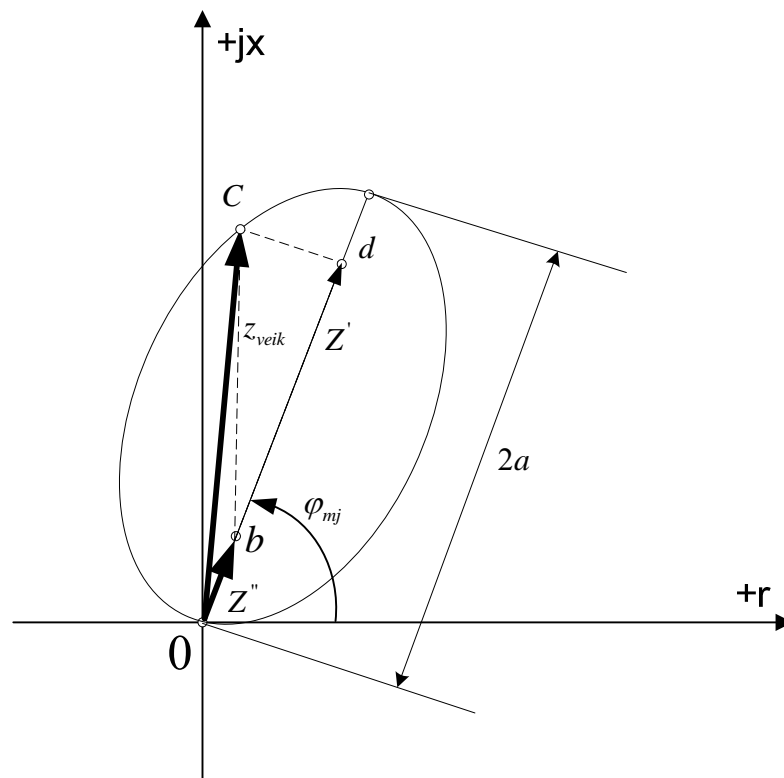
4.4 pav. Distancinės apsaugos apskritimo formos charakteristika su poslinkiu. Tokio tipo charakteristika dažniausiai sutinkama senosios kartos distancinėse apsaugose. Esminis trūkumas būtų persiaura veikties zona.

4.5 Distancinė apsauga su elipsės formos charakteristika

Kryptinės apsaugos elipsės formos charakteristika pavaizduota 4.5 paveiksle. z_{veik} priklauso nuo kampo φ_p ir turi didžiausią reikšmę kai $\varphi_p = \varphi_{mj}$. Varža $z_{veik.maks}$ lygi didžiajai elipsės ašiai $2a$.

Žinoma, kad elipsė yra geometrinė taškų vieta, kurių atstumų suma iki židinių b ir d yra pastovi ir lygi didžiajai ašiai $2a$. Iš čia priskiriame židinių b ir d koordinates z' ir z'' , o betkurio elipsės z_{veik} taško C koordinates gauname iš lygties:

$$|z_{veik} - z'| + |z_{veik} - z''| = 2a.$$



4.5 Distancinės apsaugos elipsės formos charakteristika

Palyginus apskritimo formos charakteristika su elipsės formos charakteristika, matome, kad pastarosios mažesnė veikties zona. Apsauga yra mažiau jautri perkrovom ir švitavimams.

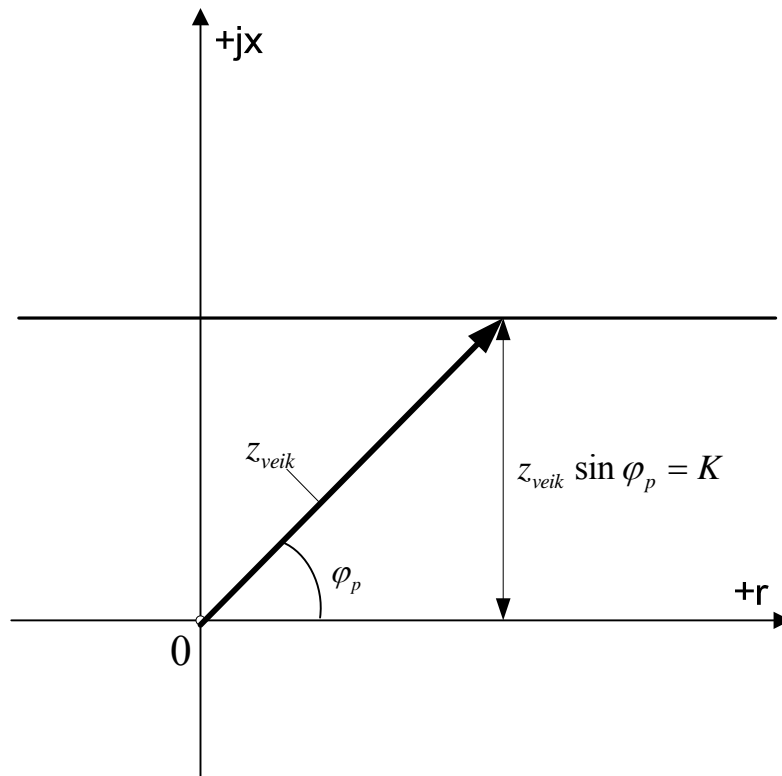
4.6 Reaktyviosios varžos distancinė apsauga

Apsauga suveikia kai

$$z_p = z_{veik} \sin \varphi_p = x_{veik} = K ,$$

kur x_{veik} pastovus dydis, nepriklausantis nuo φ_p .

Tokios apsaugos charakteristika vaizduojama tiesė linija lygiagrečiai r ašiai ir atitolusiai nuo jos atstumu $x_{veik} = K$ 4.6 paveikslas.

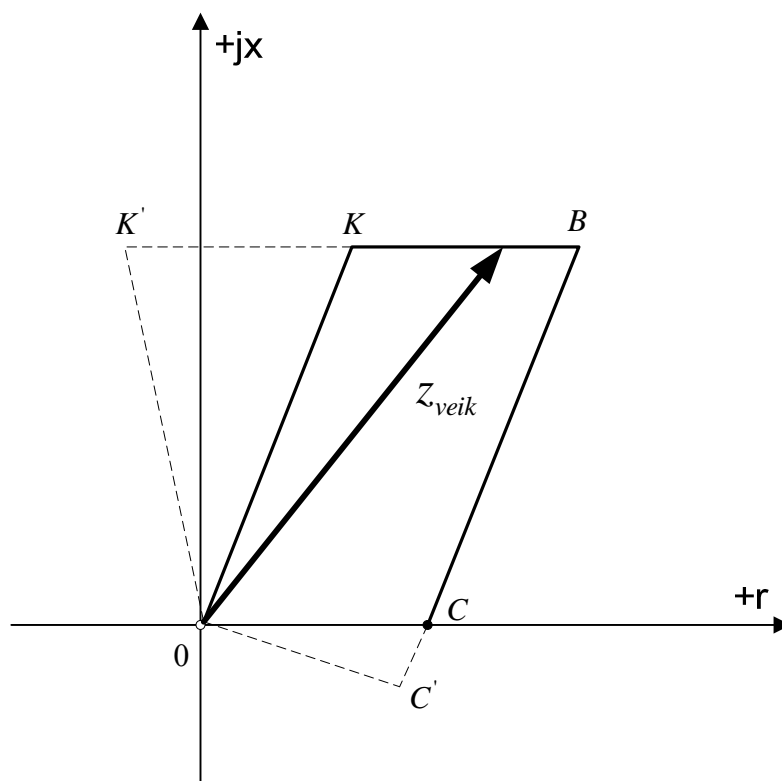


4.6 Reaktyviosios varžos distancinė apsauga

4.7 Distancinė apsauga su daugiakampio formos charakteristika

Tokio tipo kryptinės apsaugos charakteristika pavaizduota 4.7 paveiksle. Sutapatinus daugiakampę charakteristiką 4.7 paveikslas su OKBC plokštuma 4.1e paveikslas pastebima, kad keturkampė apsaugos charakteristika daugiau nei kitos sutampa su vektoriaus z_p kontūro sritimi esant trumpajam jungimui ir yra racionaliausia.

Punktų pavaizduota daugiakampė charakteristika $OK'BC'$. Toks apsaugos veikimo zonos išplėtimas numatomas esant dvipusiam maitinimui.



4.7 Distančinės apsaugos daugiakampio formos charakteristika

4.8 Išvados

Senos kartos distancinėse apsaugose dažniausiai naudojamos apskritimo formos charakteristika su poslinkiu ir elipsės formos charakteristika - tai priklauso nuo linijos paramtrų ir įpatumų. Mikroprocesorinėse distancinėse apsaugose dažniausiai naudojama daugiakampė charakteristika, bet pasitaiko ir apskritimo formos su poslinkiu. Naujos kartos apsauga yra universalesnė. Sutapatinus daugiakampę charakteristiką 4.7 paveikslas su OKBC plokštuma 4.1e paveikslas pastebima, kad keturkampė apsaugos charakteristika duogiau nei kitos sutampa su vektoriaus z_p kontūro sritimi esant trumpajam jungimui ir yra racionaliausia. Todėl išsamiau nagrinėti ir analizuoti pasirenku distancinę apsaugą su daugiakampe charakteristika.

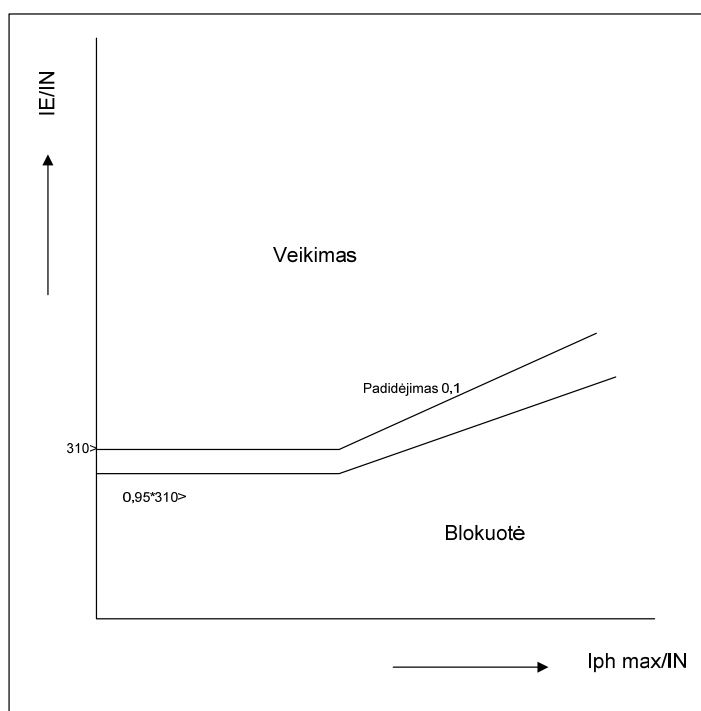
5. DISTANCINĖS APSAUGOS SU DAUGIAKAMPE CHARAKTERISTIKA VEIKIMAS

Distancinė apsauga yra esminė RAA įrenginio funkcija. Ji pasižymi aukšto tikslumo matavimais, lengvu prisitaikymu įvairiuose tinklų struktūrose ir turi eilę papildomų funkcijų.

Svarbu tai, kad apsauga gali aptikti trupus jungimus į žemę ir trupus jungimus tarp fazių. Teisingas pasipriešinimo kontūro parinkimas, įvykio vietos nustatymas, matuojamųjų elementų charakteristikos parinkimas. Distancinėje apsaugoje pastoviai įvertinama nulinės sekos srovė, nulinės sekos ir grįžtamos sekos srovių santykis, taip pat matuojama nulinės sekos įtampa, kampas tarp įtampos ir srovės.

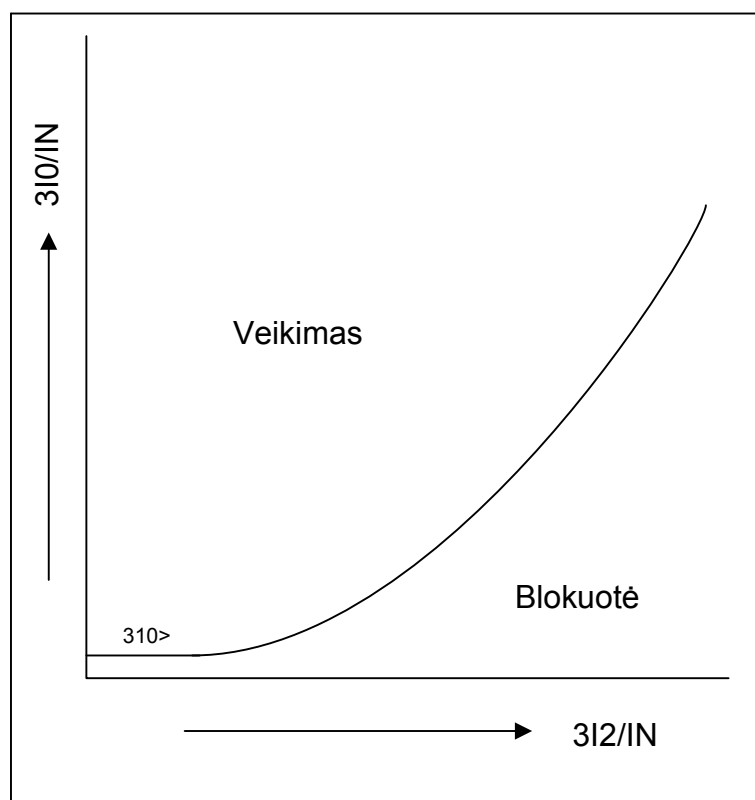
5.1 Nulinės sekos srovės kontrolės įtaka

Įrenginyje tikrinamas pagrindinės harmonikos fazinių srovių sumos ($I_e=3 \cdot I_0$) viršijimas, gautas skaitmeninės filtracijos būdu, kai užduotos pirminės reikšmės (nuostatas $3I_0>$). Kad išvengti klaidingų veikčių, yra apribojimas normaliame darbo režime nuo nesimetrinių srovių ir srovės transformatoriaus antrinių grandinių nebalanso srovių, atsirandančių tarpfaziniam trumpajam jungimui: esant fazinių srovių padidėjimui, automatiškai padidėja veikties nuostatas 5.1 pav. Grįžimo nuostatas sudaro 95% suveikimo nuostato.



5.1 pav. Įžemėjimo charakteristika

Tolimoms stipriai apkrautoms linijoms, naudojant nulinės sekos srovės kontrolės metodą, dėl didelių srovių gali atsirasti pašuirkštėjimai. Kad ir šiuo atveju pavyktų aptikti įžemėjimą, naudojamas kontrolės elementas. Jis matuoja nulinės sekos srovės ir grįžtamos sekos srovės santykį. Esant vienfaziam trumpajam jungimui grįžtamos sekos srovė I_2 lygi nulinės sekos srovei I_0 . Jei santykis I_2 su I_0 viršija užduotą nuostatą - apsauga paveikia. 5.2 pav. pavaizduota veikties charakteristika ir jos kitimas padidėjus grįžtamos sekos srovei. Ši charakteristika – kvadratinė funkcija.



5.2 pav. Įžemėjimo charakteristika I_0/I_2

Varžų išskaičiavimas vykdomas kiekvienam iš šešių galimų kontūrų L1-E, L2-E, L3-E, L1-L2, L2-L3, L3-L1. Identifikacijos elementas valdo visus skaičiavimo procesus atsiradus pažeidimui. Jei apdorojant rezultatus atsirado naujas pažeidimas, tai skaičiavimai iš karto vykdomi su naujais pažeidimo duomenimis, tokiu atveju įrenginyje pastoviai apdirbami esančio pažeidimo duomenys.

Norint paskaičiuoti kontūrai „fazė-fazė“ dvifaziam trumpam jungimui L1-L2, 5.3 pav., naudojama lygybė :

$$I_{L1} \cdot Z_L - I_{L2} \cdot Z_L = U_{L1-E} - U_{L2-E}$$

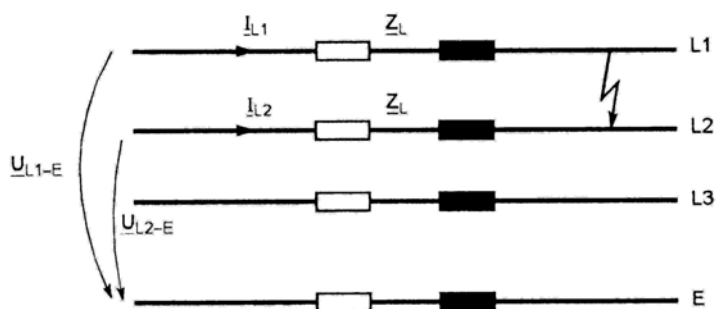
Kur:

$\underline{U}, \underline{I}$ matuojami dydžiai (vektoriai)

$\underline{Z} = R + jX$ pilnutinė (kompleksinė) linijos varža

Tuomet linijos varžą galime išreikšti taip:

$$\underline{Z}_L = \underline{U}_{L1-E} - \underline{U}_{L2-E} / \underline{I}_{L1} - \underline{I}_{L2}$$



5.3 pav. Trumpas jungimas „fazė-fazė“

Kuomet viena iš fazių atjungta, apėjimas kontūru „fazė-fazė“ nevykdomas, kad sumažinti klaidų skaičių dėl netikslių duomenų, elementas apsprendžiantis esamą būseną siunčia blokuojantį signalą.

Atliekant kontūro skaičiavimus „fazė-žemė“, pavyzdžiui, trumpas jungimas L3-E (5.4 pav.), reikia atkreipti dėmesį, kad grįžtamos grandies varža per žemę nesutampa su laidininko varža. Išraiška kontūrams :

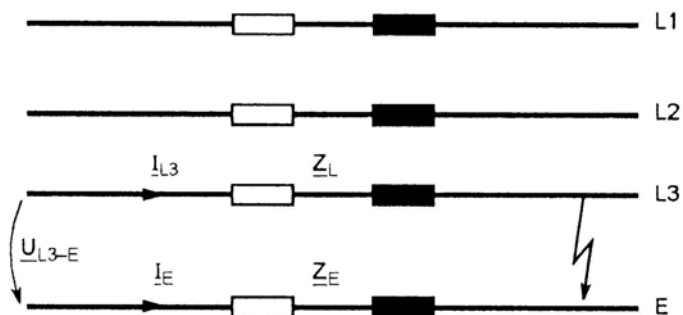
$$\underline{I}_{L3} * \underline{Z}_L - \underline{I}_E * \underline{Z}_E = \underline{U}_{L3-E};$$

Jei pakeistume \underline{Z}_E į $(\underline{Z}_E / \underline{Z}_L) * \underline{Z}_L$, tuomet gaunasi:

$$\underline{I}_{L3} * \underline{Z}_L - \underline{I}_E * (\underline{Z}_E / \underline{Z}_L) * \underline{Z}_L = \underline{U}_{L3-E};$$

Iš ko ir gauname linijos varžą:

$$\underline{Z}_L = \underline{U}_{L3-E} / \underline{I}_{L3} - \underline{Z}_E / \underline{Z}_L * \underline{I}_E$$

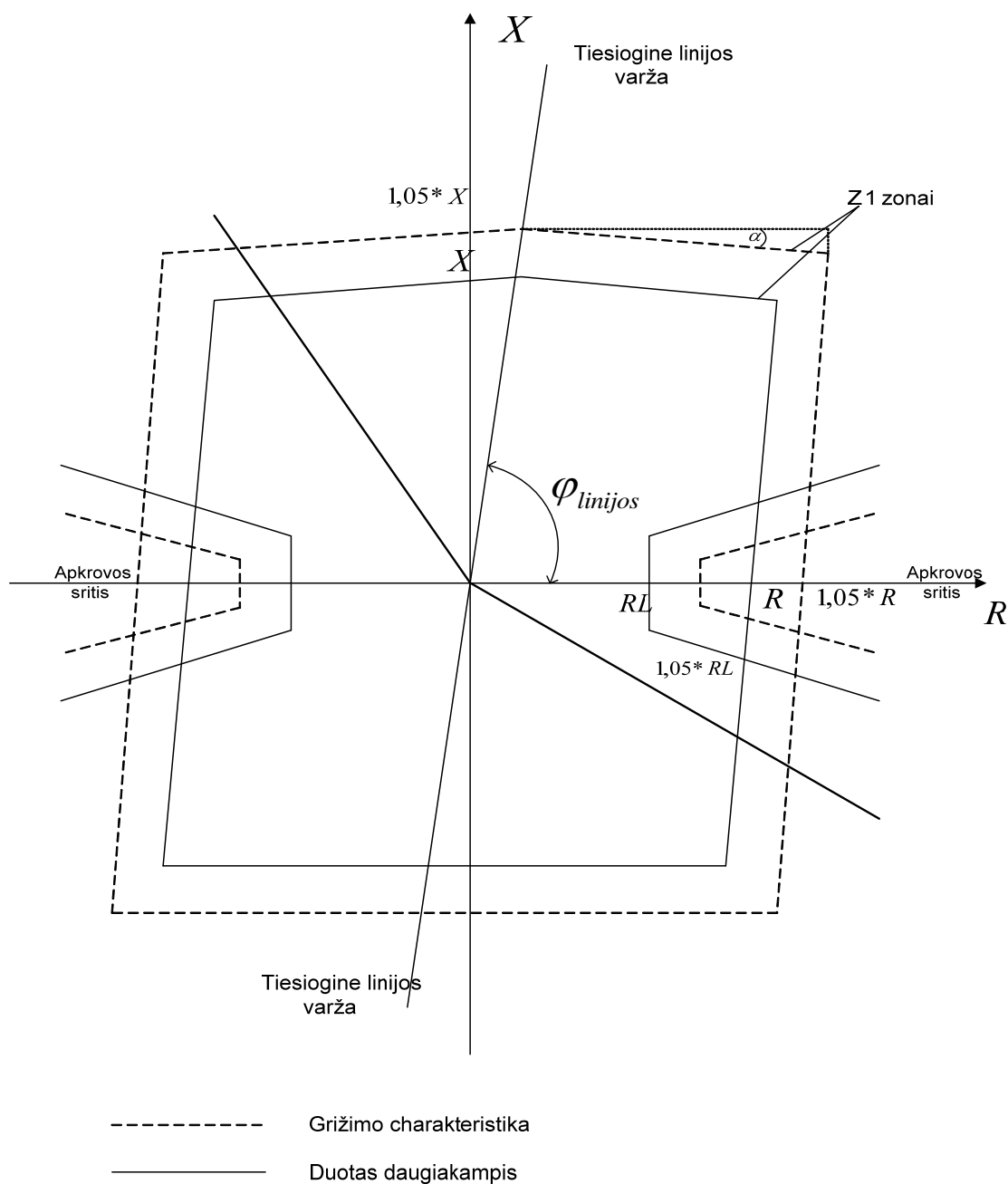


5.4 pav. Trumpas jungimas „fazė-žemė“

Koeficientas $\underline{Z}_E/\underline{Z}_L$ priklauso tik nuo linijos parametrų ir nepriklauso nuo atstumo iki įvykio vietos.

5.2 Distancinės apsaugos darbinės zonos

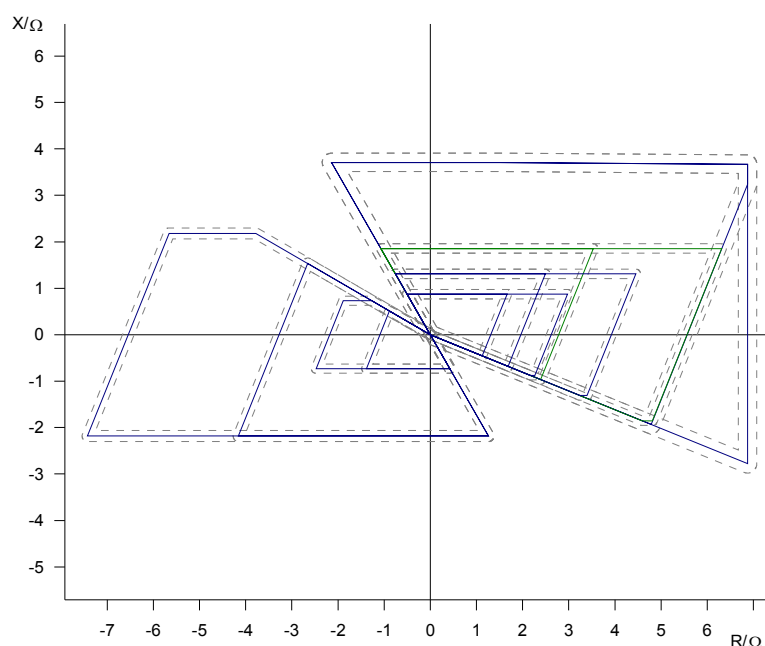
Kiekvienai distancinei zonai priskiriamas darbinis daugiakampis. Atitinkamai zonai daugiakampis apibrėžia veikimo charakteristiką. Kiekviename kontūre yra 5 nepriklausomos zonos ir viena papildoma valdoma zona. Pirmos zonos Z1 suveikimo charakteristika pavaizduota 5.5 paveiksle. Daugiakampis yra simetriškas koordinatinių plokštumos R-X atžvilgiu.



5.5 pav. Daugiakampė veikties charakteristika

5.3 Distancinės apsaugos tikrinimas

5.6 paveiksle pavaizduotos diagramos yra konkrečios linijos apsaugos veikimo zonos. Naudojamas stendas „Omicron CMC 256-6“, naudojama programinė įranga „Omicron test univese TU - 2.1“. Buvo užduodami nuostatai ir imituojamos avarijos. Gauti išmatuoti duomenys lyginami su užduotais. Buvo stebima kaip distancinė apsauga tiksliai suveikia savo veikimo zonoje, ir nebeveikia išėjus už jos ribų. Taip pat buvo fiksuojami duomenys visos zonos perimetru.



5.6 pav. Distancinės apsaugos charakteristikos

Paveiksluose 5.7, 5.8 ir 5.9 bei lentelėse 5.2, 5.3 ir 5.4 parodytos bandymo metu nuimtos charakteristikos. Lentelėse yra duomenys su matavimo rezultatais. Konkreti bandoma apsauga yra 5 zonų. Bandymo metu reikėjo išbandyti kiekvieną zoną ir visais įmanomais trumpo jungimo režimais kiekvienoje iš penkių zonų. Pilnas bandymas yra pirmame priede

- a) trumpas jungimas tarp fazių (A-B, B-C, C-A)
- b) trumpas jungimas fazė-„žemė“ (A-N, B-N, C-N)
- c) trumpas jungimas tarp visų trijų fazių

5.1 lentelė

Apsaugos nuostatai

Label	Type	Fault loop	Trip time	Tol.T rel	Tol.T abs+	Tol.T abs-	Tol.Z rel	Tol.Z abs
Z1	tripping	L-E	0.000 s	1.000 %	100.0 ms	100.0 ms	5.000 %	100.0 mΩ

5.2 lentelė

A-N FAŽĖ-ŽEMĖ

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: -20.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
2.529 Ω	-20.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: -5.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
342.1 mΩ	-5.00 °	0.000 s	15.10 ms	15.10 ms	6.000 A	passed
2.434 Ω	-5.00 °	0.000 s	55.40 ms	55.40 ms	6.000 A	passed
2.643 Ω	-5.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 10.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
188.7 mΩ	10.00 °	0.000 s	15.50 ms	15.50 ms	6.000 A	passed
2.745 Ω	10.00 °	0.000 s	35.40 ms	35.40 ms	6.000 A	passed
2.980 Ω	10.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 25.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
136.7 mΩ	25.00 °	0.000 s	15.90 ms	15.90 ms	6.000 A	passed
1.829 Ω	25.00 °	0.000 s	34.90 ms	34.90 ms	6.000 A	passed
2.302 Ω	25.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 40.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
113.3 mΩ	40.00 °	0.000 s	16.30 ms	16.30 ms	6.000 A	passed
1.203 Ω	40.00 °	0.000 s	35.00 ms	35.00 ms	6.000 A	passed
1.514 Ω	40.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 55.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
110.3 mΩ	55.00 °	0.000 s	16.20 ms	16.20 ms	6.000 A	passed
943.7 mΩ	55.00 °	0.000 s	35.10 ms	35.10 ms	6.000 A	passed
1.188 Ω	55.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 70.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
130.5 mΩ	70.00 °	0.000 s	16.00 ms	16.00 ms	6.000 A	passed
822.6 mΩ	70.00 °	0.000 s	34.70 ms	34.70 ms	6.000 A	passed
1.035 Ω	70.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 85.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

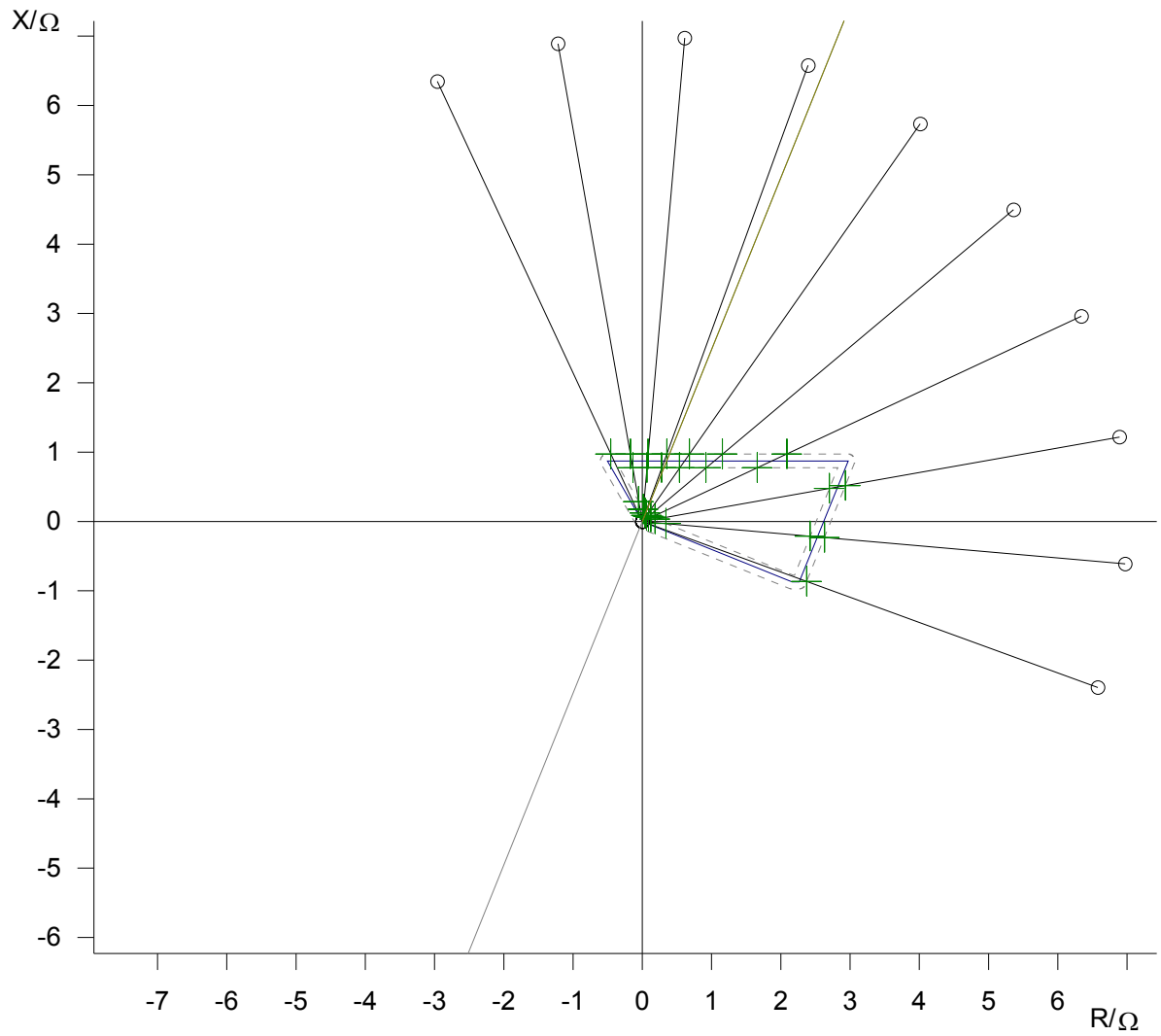
Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
174.4 mΩ	85.00 °	0.000 s	15.80 ms	15.80 ms	6.000 A	passed
775.9 mΩ	85.00 °	0.000 s	34.70 ms	34.70 ms	6.000 A	passed
976.7 mΩ	85.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 100.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
292.4 mΩ	100.00 °	0.000 s	16.10 ms	16.10 ms	6.000 A	passed
784.9 mΩ	100.00 °	0.000 s	54.90 ms	54.90 ms	6.000 A	passed
988.0 mΩ	100.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 115.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
1.074 Ω	115.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed



5.7 pav. Imituojamo trumpojo jungimo fazė - „žemė“ charakteristika

5.3 lentelė

B-N FAZĖ-ŽEMĖ

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: -20.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
2.529 Ω	-20.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: -5.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
342.1 mΩ	-5.00 °	0.000 s	15.30 ms	15.30 ms	6.000 A	passed
2.434 Ω	-5.00 °	0.000 s	56.50 ms	56.50 ms	6.000 A	passed
2.643 Ω	-5.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 10.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
188.7 mΩ	10.00 °	0.000 s	16.30 ms	16.30 ms	6.000 A	passed
2.745 Ω	10.00 °	0.000 s	35.20 ms	35.20 ms	6.000 A	passed
2.980 Ω	10.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 25.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
136.7 mΩ	25.00 °	0.000 s	16.00 ms	16.00 ms	6.000 A	passed
1.829 Ω	25.00 °	0.000 s	34.50 ms	34.50 ms	6.000 A	passed
2.302 Ω	25.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 40.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
113.3 mΩ	40.00 °	0.000 s	15.60 ms	15.60 ms	6.000 A	passed
1.203 Ω	40.00 °	0.000 s	34.20 ms	34.20 ms	6.000 A	passed
1.514 Ω	40.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 55.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
110.3 mΩ	55.00 °	0.000 s	15.90 ms	15.90 ms	6.000 A	passed
943.7 mΩ	55.00 °	0.000 s	34.70 ms	34.70 ms	6.000 A	passed
1.188 Ω	55.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 70.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
130.5 mΩ	70.00 °	0.000 s	15.60 ms	15.60 ms	6.000 A	passed
822.6 mΩ	70.00 °	0.000 s	35.10 ms	35.10 ms	6.000 A	passed
1.035 Ω	70.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 85.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

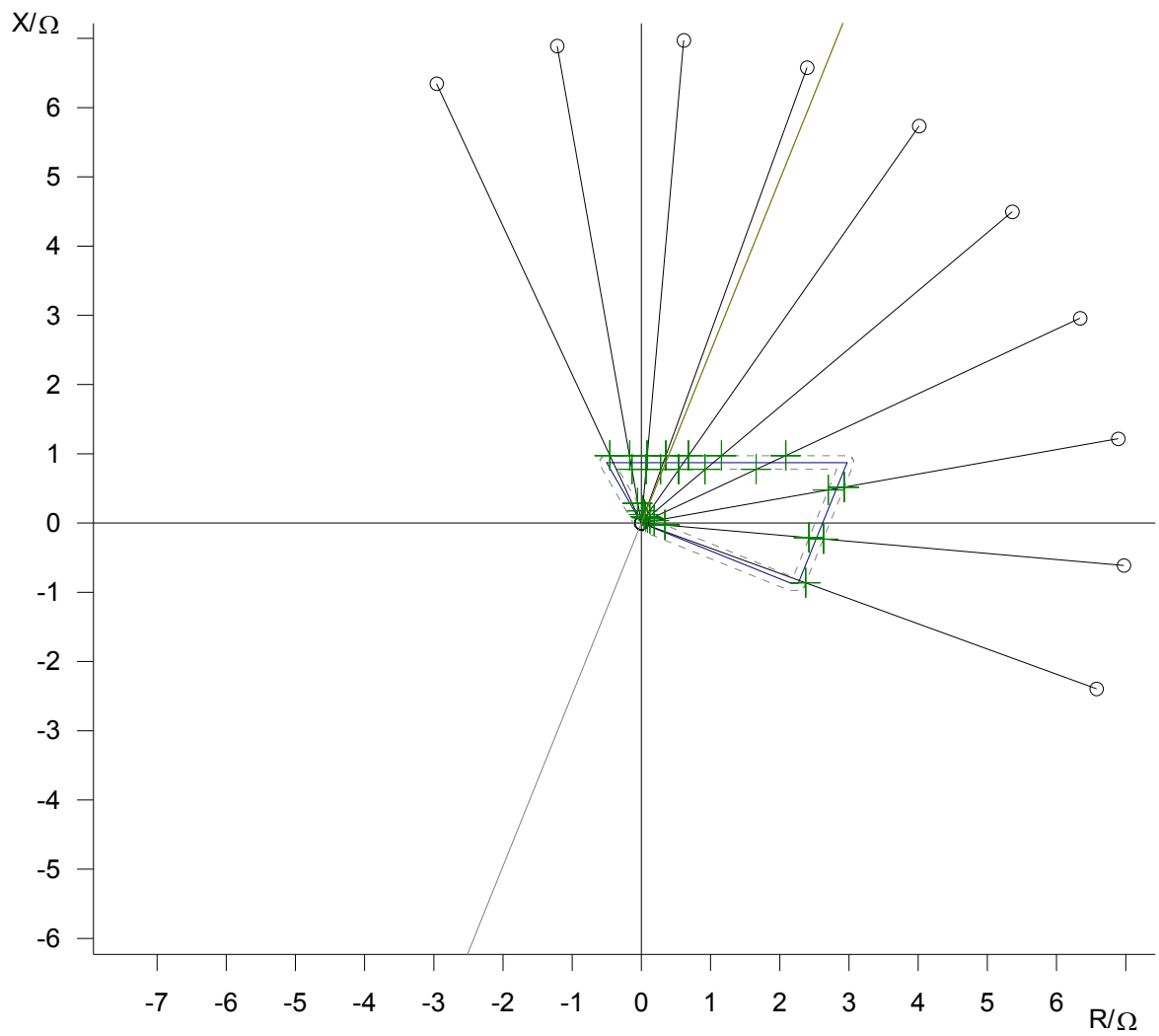
Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
174.4 mΩ	85.00 °	0.000 s	16.30 ms	16.30 ms	6.000 A	passed
775.9 mΩ	85.00 °	0.000 s	34.40 ms	34.40 ms	6.000 A	passed
976.7 mΩ	85.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 100.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
292.4 mΩ	100.00 °	0.000 s	16.20 ms	16.20 ms	6.000 A	passed
784.9 mΩ	100.00 °	0.000 s	54.40 ms	54.40 ms	6.000 A	passed
988.0 mΩ	100.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 115.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
1.074 Ω	115.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed



5.8 pav. Imituojamo trumpojo jungimo fazė - „žemė“ charakteristika

5.4 lentelė

C-N FAZĖ-ŽEMĖ

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: -20.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
2.529 Ω	-20.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: -5.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
342.1 mΩ	-5.00 °	0.000 s	15.60 ms	15.60 ms	6.000 A	passed
2.434 Ω	-5.00 °	0.000 s	54.40 ms	54.40 ms	6.000 A	passed
2.643 Ω	-5.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 10.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
188.7 mΩ	10.00 °	0.000 s	16.60 ms	16.60 ms	6.000 A	passed
2.745 Ω	10.00 °	0.000 s	35.00 ms	35.00 ms	6.000 A	passed
2.980 Ω	10.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 25.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
136.7 mΩ	25.00 °	0.000 s	15.40 ms	15.40 ms	6.000 A	passed
1.829 Ω	25.00 °	0.000 s	34.50 ms	34.50 ms	6.000 A	passed
2.302 Ω	25.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 40.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
113.3 mΩ	40.00 °	0.000 s	15.40 ms	15.40 ms	6.000 A	passed
1.203 Ω	40.00 °	0.000 s	34.90 ms	34.90 ms	6.000 A	passed
1.514 Ω	40.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 55.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
110.3 mΩ	55.00 °	0.000 s	15.60 ms	15.60 ms	6.000 A	passed
943.7 mΩ	55.00 °	0.000 s	35.00 ms	35.00 ms	6.000 A	passed
1.188 Ω	55.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 70.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
130.5 mΩ	70.00 °	0.000 s	16.20 ms	16.20 ms	6.000 A	passed
822.6 mΩ	70.00 °	0.000 s	34.30 ms	34.30 ms	6.000 A	passed
1.035 Ω	70.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 85.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

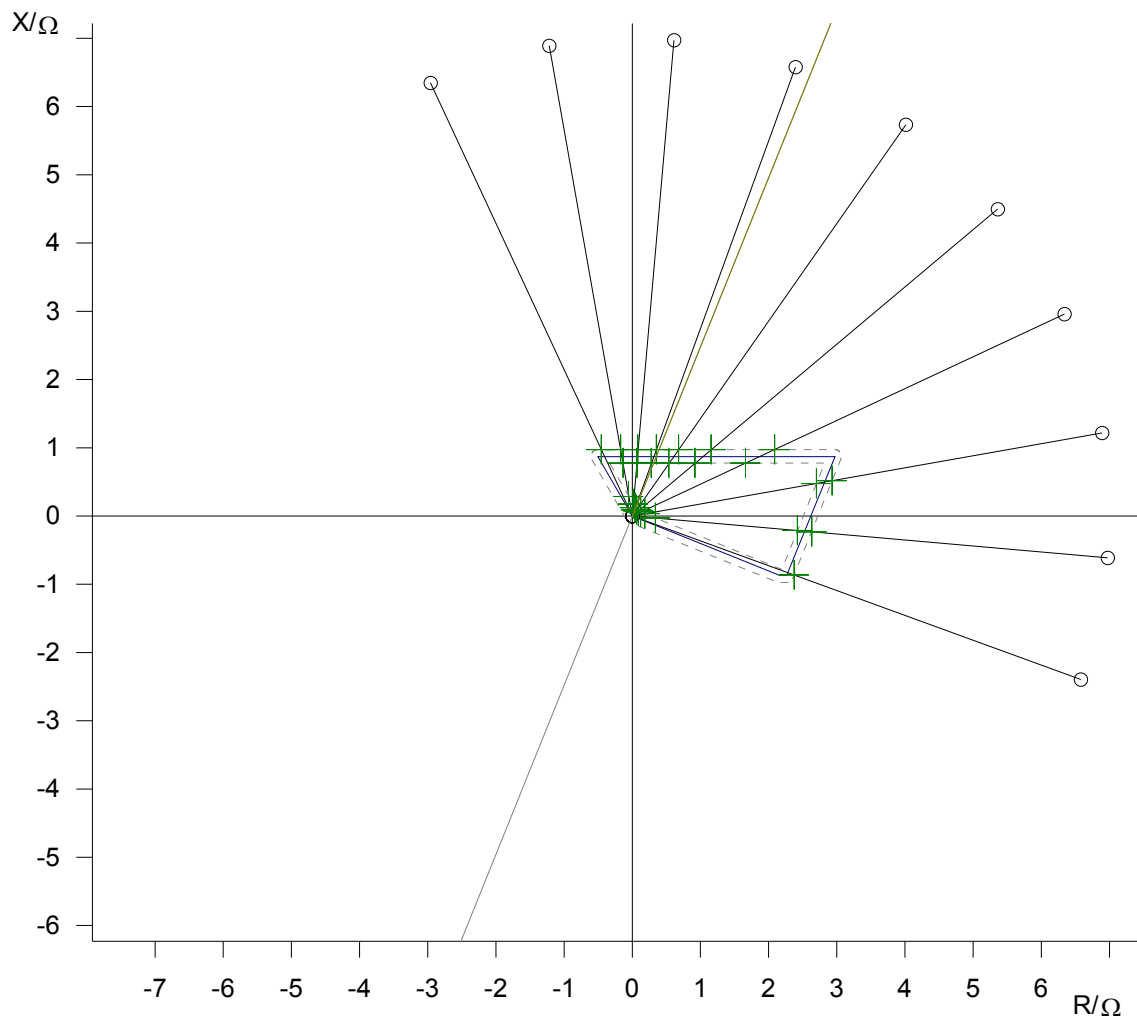
Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
174.4 mΩ	85.00 °	0.000 s	15.80 ms	15.80 ms	6.000 A	passed
775.9 mΩ	85.00 °	0.000 s	34.70 ms	34.70 ms	6.000 A	passed
976.7 mΩ	85.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 100.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
292.4 mΩ	100.00 °	0.000 s	15.50 ms	15.50 ms	6.000 A	passed
784.9 mΩ	100.00 °	0.000 s	54.50 ms	54.50 ms	6.000 A	passed
988.0 mΩ	100.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed

|Z|: 0.000 Ω Phi: 0.00 ° Angle: 115.00 ° Result: passed
 Length: 7.000 Ω %: 110.00 % % of:

Z	Phi	t nom	t act	Dev.	I Test	Result
1.074 Ω	115.00 °	no trip	no trip	n/a	6.000 A	passed



5.9 pav. Imituojamo trumpojo jungimo fazė - „žemė“ charakteristika

6. 110 KV PASTOČIŲ REKONSTRUKCIJŲ PAGRINDIMAS

6.1 Elektros įrenginių patikimumas

Techninių sistemų riziką apsprendžia įvairūs reiškiniai, vienu metu vykstantys tiek pačioje sistemoje, tiek ir ją veikiančioje aplinkoje. Dalis šių reiškinų yra deterministiniai, dalis grynai atsitiktiniai, tačiau dažniausiai tai yra kompleksiniai reiškiniai, kurie yra tarpusavyje priklausomi ir kurių įvertinimui dažnai reikalinga kelių techninių sričių metodų ir analizės būdų suderinimas, bei integruota rezultatų analizė priimant sprendimus dėl saugos ir valdymo. Elektros tinklo būvių patikimumo vertinimo metodai ilgą laiką buvo sutapatinami tik su tikimybiniais analizės metodais. Tačiau rizikos vertinimas ir valdymas apima ne tik pavojingo įvykio dažnio nustatymą, bet ir šio įvykio pasekmių analizę bei galimos rizikos priklausomybės nuo valdomų parametrų tyrimą. Techninių sistemų darbo būvių patikimumo ir avarinių būvių rizikos įvertinimas ir valdymas bei rezultatų neapibrėžtumų skaičiavimai gaunami tiksliausi naudojant ne tik tikimybinis modelius, bet ir deterministinius skaičiavimus, inžinierinius vertinimus ir kitas žinias apie elektros sistemą. Tokia avarinių būvių susidarymo rizikos vertinimo ir valdymo metodologija, bendrai naudojant deterministinius ir tikimybinis modelius, vadinama integruota avarinių būvių susidarymo rizikos įvertinimo ir valdymo metodologija.

Matematinis integruotų modelių pagrindas yra Markovo atsitiktiniais procesais aprašomas deterministinis fizikinio proceso kitimas, veikiamas atsitiktinių perėjimų tarp sistemos būvių. Sistemą (pvz., elektros liniją) laiko momentu t nusako procesas $(X(t), Y(t))$, čia $Y(t) = (y_1(t), \dots, y_M(t))$ – fizikinio proceso vektorius, kurio sandais gali būti įvairios fizikinių reiškinų, pvz., temperatūra, slėgis, aušinimo savybės, senėjimas, remontai ir pan., sistemą apibūdinančios charakteristikos: N – fizikinių parametrų skaičius, $X(t)$ - sistemos elementų būvius nusakantis procesas, įgyjantis reikšmes iš aibės $1 \dots M$, $M = m^n$, n – sistemos elementų skaičius, m – elementų būvių skaičius.

Fizikinio proceso vektoriaus dinamika aprašoma diferencialinių lygčių sistema:

$$\frac{dy(t)}{dt} = f(i, y, t), \quad i=1..M, \quad \text{arba integraliniame pavidale}$$

$$y(t) = y_0 + \int_0^t f(i, y(s), s) ds, \quad i=1..M. \quad \text{Deterministinį procesą } (X(t), Y(t)) \text{ vienareikšmiškai}$$

nusako funkcija $f(\cdot)$, charakterizuojanti deterministinį judėjimą ir nustatoma deterministinių

kodų pagalba arba sprendžiant fizikinius procesus aprašančias diferencialines lygtis, o elektros tinklų atveju – tinklo (Kirchhof'o) lygtimis.

Sistemų rizikos arba patikimumo valdymo parametrai į matematinį modelį nejungiami, bet valdymas vykdomas atliekant perskaičiavimus su pakeistais valdymo parametrais pagal suformuluotą kriterijų. Atskirais atvejais, sistemose rizikos valdymo matematinis modelis gali turėti analitinę išraišką ir tada gali būti sprendžiami kai kurie optimizavimo uždaviniai.

6.2 Perdavimo tinklas

Lietuvoje 110 kV RAA įrenginių būklė yra sudėtinga. Daugelyje skirstyklų yra sumontuoti pasenę apsaugos ir automatikos įrenginiai. Tokie prietaisai negali užtikrinti pilnavečio elektros energijos perdavimo. Perdavimo tinkle yra apie 35 procentus rekonstruotų skirstyklų. Kitos laukia savo eilės.

Lietuvoje 110 ir 330 kV perdavimo tinklas pateiktas 6.1 paveiksle.



6.1 pav. 110 ir 330 kV perdavimo tinklas

Duomenys apie 110 ir 330 kV tinklą pateikti lentelėje 6.1

110 ir 330 kV tinklo duomenys

6.1 lentelė

	110 kV	330 kV	Iš viso
Orinių linijų ilgis, km (trasomis)	4407	1606	6013
Kabelinių linijų ilgiai, km	9		9
Transformatorių pastotės (vienetais)		11	11
Skirstyklos (vienetais)	205		205
Transformatorių pastočių galia, MVA		3250	3250

Lentelėje 6.2 yra „Lietuvos energijos“ perdavimo tinklo duomenys apie 110 kV linijų apsaugas skyriuose.

110 kV linijų apsaugos

6.2 lentelė

Skyriaus pavadinimas	Įrenginių sk.
Vilnius	362
Kaunas	312
Klaipėda	298
Šiauliai	287
Utena	273

Lentelėje 6.3 yra duomenys apie planuojamas skirstyklų rekonstrukcijas perdavimo tinklo Šiaulių skyriuje. Paveiksluose 6.2, 6.3, 6.4, parodyta esama skirstyklų situacija, kiek reikės investicijų, ir kada planuojama įgyvendinti rekonstrukcijas.

Ekonominiu požiūriu pastotės atsipirkimo laikas yra ilgas, tačiau rekonstruojant pastotis pirmiausia atsižvelgiama į elektros tiekimo patikimumą.

2005-2016 m. Planuojamos rekonstrukcijos

6.3 lentelė

Pastotės	Paskutinio kompl. remonto data	Įvedimo metai	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2000	2013	2014	2015	2016	
ŠIAULIAI 330/110/10 kV TP	1998	1962			500	14000	16200								30700
JONIŠKIS 110/35/10 kV TP	1997	1970	2160	2700											4860
N.AKMENĖ 110/35/10 kV TP	1997	1970				200	5400	8000							13600
ŠAKIAI 110/35/10 kV TP	1994	1977		200	2400	2500									5100
MEŠKUIČIAI 110/10 kV TP	1993	1967		2600											2600
KURŠĖNAI 110/35/10 kV TP	2000	1974			200	6000	8000								14200
GUBERNIJA 110/10 kV TP	1999	1964			200	4400									4600
ŽAGARĖ 110/10 kV TP	2000	1976			100	2500									2600
ZOKNIAI 110/10 kV TP	2000	1974			50				200	4000					4250
KRAŽIAI 110/10 kV TP	2000	1968				100	2500								2600
GRUZDŽIAI 110/10 kV TP	1994	1980				200	4000								4200

6.3 lentelės tęsinys kitame puslapyje

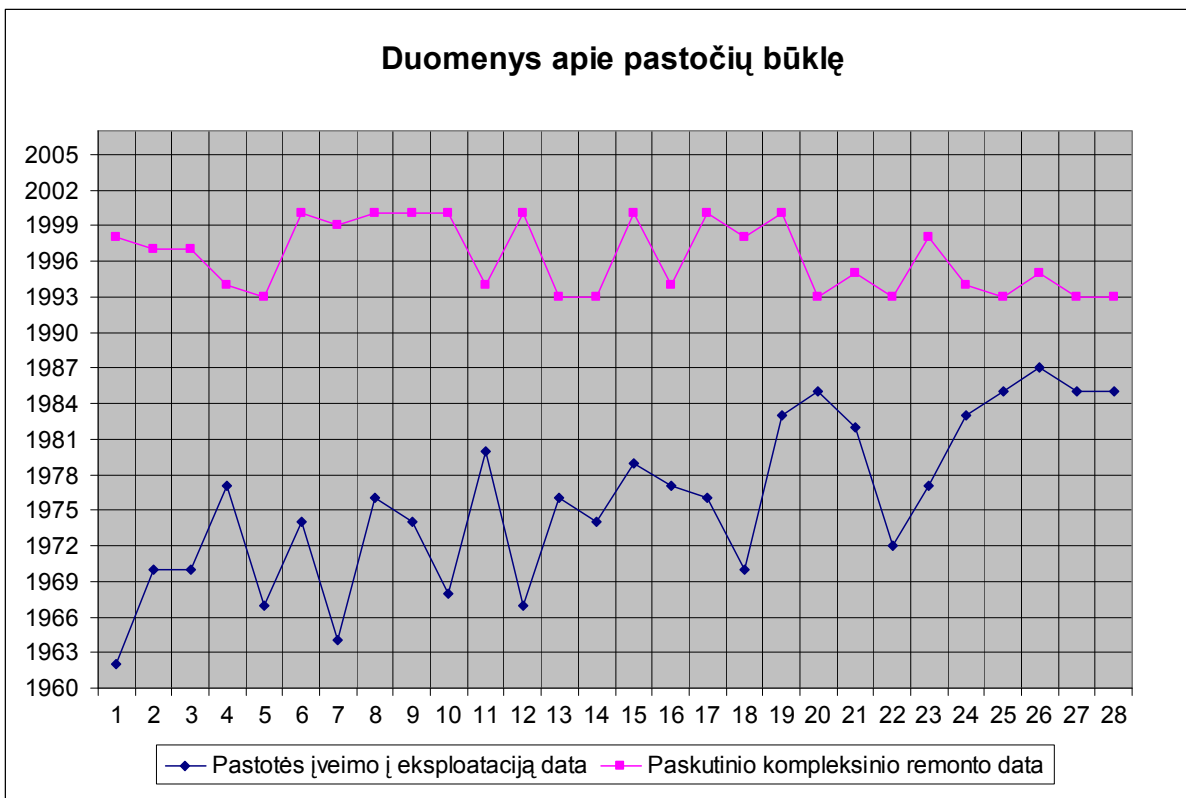
6.3 lentelės tęsinys

ŠAKYNA 110/10 kV TP	2000	1967					100	2500							2600
DAINAI 110/10 kV TP	1993	1976						200	4000						4200
VENTA 110/35/10 kV TP	1993	1974						100	4000						4100
GELGAUDIŠKIS 110/10 kV TP	2000	1979						100	4000						4100
JURBARKO 330/110/10 kV TP	1994	1977							400	10000	10000				20400
ERŽVILKAS 110/10 kV TP	2000	1976							100	2500					2600
PAKRUOJIS 110/35/10 kV TP	1998	1970							200	2500	2500				5200
JUČIAI 110/10 kV TP	2000	1983								100	2500				2600
VYTĖNAI 110/10 kV TP	1993	1985									100	2500			2600
RĖKYVA 110/35/10 kV TP	1995	1982									200	4000	6000		10200
KALNĖNAI 110/10 kV TP	1993	1972									100	2500			2600
BUBIAI 110/10 kV TP	1998	1977										100	4000		4100

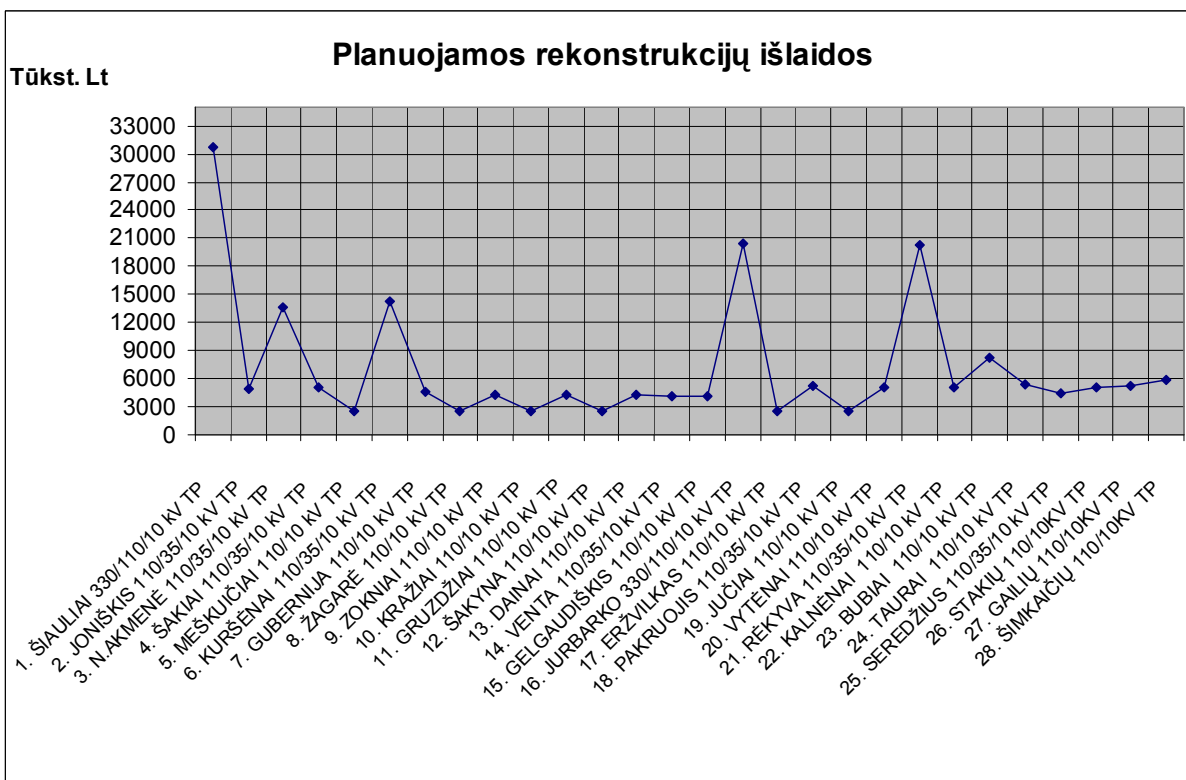
6.3 lentelė tęsinys kitame puslapyje

6.3 lentelės tęsinys

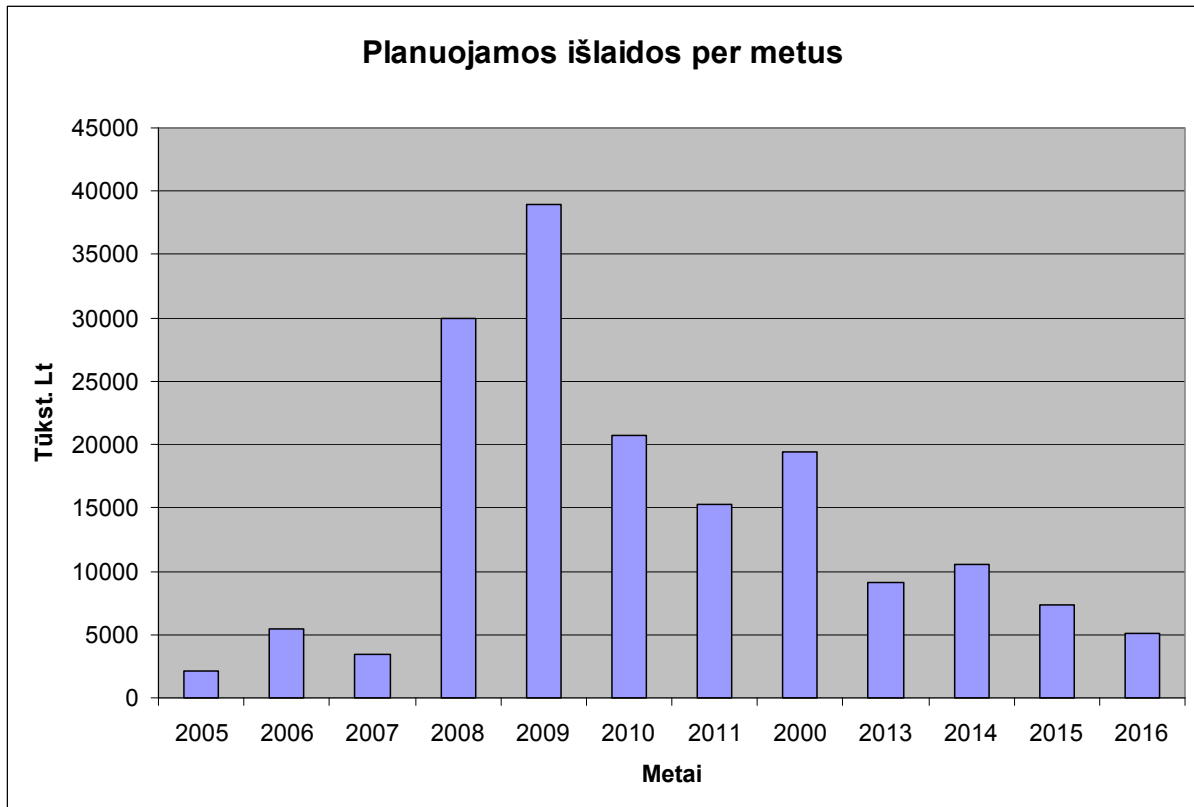
TAURAI 110/10 kV TP	1994	1983										200	2500		2700
SEREDŽIUS 110/35/10 kV TP	1993	1985										100	2100		2200
STAKIŲ 110/10KV TP	1995	1987										250	2300		2550
GAILIŲ 110/10KV TP	1993	1985											100	2500	2600
ŠIMKAIČIŲ 110/10KV TP	1993	1985											300	2600	2900
Iš viso tūkst. Lt:			2160	5500	3450	30000	39000	20700	15300	19400	9100	10550	7300	5100	167560



6.2 pav. Duomenys apie pastočių būklę



6.3 pav. Planuojamų rekonstrukcijų išlaidos



6.4 pav. Planuojamos išlaidos per metus

6.3 Investicinio projekto pagrindimas

Investicinio projekto detalaus pagrindimo sudedamosios dalys:

1. Šiaulių 330/110/10kV pastotės rekonstrukcija
2. Objekto būklė

2.1 Pastotė pradėta eksploatuoti 1962 metais. 330kV dalis rekonstruota. Esami 110kV pirminės ir antrinės komutacijos įrenginiai yra labai prastos būklės. Eksploatuojami daug priežiūros ir didelių remonto išlaidų reikalaujantys oriniai jungtuvai. Dalis skyriklių pakeista, likę skyrikliai seni, surūdyję, sunkiai valdomi. Prasti TP drenažo, valymo, lietaus kanalizacijos įrenginiai. Rėlinė apsauga ir valdymas taip pat labai prastos būklės.

2.2 Siekiant užtikrinti el. energijos nepertraukiamą tiekimą, būtina atnaujinti visus pirminės bei antrinės komutacijos įrenginius. Neliktų suspausto oro ūkio. Tuo pačiu būtų žymiai sumažintos eksploatacijos ir remonto išlaidos.

3 Objekto numatoma perspektyva

3.1 Pilnai rekonstruota TP būtų perspektyvi, kadangi auganti ekonomika reikalauja vis daugiau stabilaus, nepertraukiamo el. energijos tiekimo. Sumažėtų remonto ir eksploatacijos išlaidos. Ši pastotė dar svarbi operatyvinio valdymo aspektu - valdomos 2-330kV, 9- 110kV oro linijos.

3.2 Siekiami tikslai:

- patikimas ir nepertraukiamas el. energijos tiekimas
- minimalios remonto ir eksploatacijos išlaidos
- operatyvinio valdymo patikimumas ir nesudėtingumas
- operatyvinio bei operatyvinio-remontinio personalo darbo saugumo didinimas

3.3 5 metų perspektyva: auganti ekonomika pareikalaus vis didesnių vartojimo poreikių ir apkrovų.

4 Techninis-ekonominis galimų variantų palyginimas

4.1 Rekonstruoti TP toje pačioje vietoje būtų sunku dėl įrenginių gausos, arti vienas kito praeinančių laidų šleifų ir t.t., todėl galimi 2 variantai:

- 110kV dalis rekonstruojama toje pačioje vietoje
- 110kV dalis rekonstruojama kitoje, šalia dabartinės 110kV skirstyklos esančioje teritorijoje.

4.2 Palankesnis būtų II-as variantas, kadangi būtų išvengta sudėtingų operatyvinių perjungimų, padidėtų dirbančiųjų saugumas, tuo pačiu būtų sutaupyta laikas ir dalis lėšų.

4.3 Pakeitus orinius jungtuvus į naujus vakarietiškus dujinius, poveikis gamtai ir supančiai aplinkai būtų minimalus, kadangi jungtuvų dujos SF₆ nekenkia aplinkai, o nauji alyviniai srovės ir įtampos transformatoriai yra mažo tūrio bei pakankamai patikimi, todėl avarijos atveju patektų labai mažas alyvos kiekis, kurį greitai ir efektyviai galės pašalinti be žalos supančiai aplinkai.

4.4 Įgyvendinus projektą, ekonominiu požiūriu išlaidos būtų minimalios, nes neliktų senų įrenginių, neliktų suspausto oro ūkio bei nebereikėtų remontinio personalo, kas irgi mažina išlaidas, tačiau socialiniu požiūriu- padaugėtų bedarbių.

Neįgyvendinus projekto, ekonominiu požiūriu išlaidos ir toliau liktų didelės, nes seni įrenginiai reikalauja didelių remonto, operatyvinio valdymo bei darbo užmokesčio aptarnaujančiam personalui lėšų, bet būtų išsaugotos darbo vietos.

5 Projekto apimtys, įgyvendinimo planas

5.1 Objekto rekonstrukcijos apimtys 2008-2011m.:

- Išmontuojami visi pirminės komutacijos įrenginiai (110kV oriniai jungtuvai, skyrikliai (naujai sumontuoti skyrikliai išlieka juos laikinai išmontavus, o po to sumontavus naujoje vietoje pagal projektą), įtampos tr-riai, srovės tr-riai, ryšių kondensatoriai ir ryšių užtvėrėjai, iškrovikliai, 3 šynų sekcijos), visi antrinės komutacijos įrenginiai (a/k spintos, seni jėgos, RAA bei valdymo kabeliai).
- Vietoj senų įrenginių pastatomi nauji vakarietiški, sukomplektuojamos ir suderinamos apsaugos, valdymo sistema (pastotės schema parenkama studijos eigoje, po to naujų įrenginių kiekis).

5.2 Objekto rekonstravimo planas 2008-2011m.:

- Projektavimas 2008.01 – 2009.12
- Rekonstrukcijos I-as etapas 2010.01 – 2010.12
- Rekonstrukcijos II-as etapas 2011.01 – 2011.12

6 Ekonominė dalis

6.1 Investicinio projekto reikalingos lėšos – 31000 tūkst. Lt

7 Išvados

Įgyvendinus investicinį projektą: padidės patikimumas

- Padidės el. energijos perdavimo patikimumas
- Sumažės eksploatacijos ir remonto išlaidos
- Padidės Perdavimo tinklo įrenginių eksploatacijos paslaugų pirkimo galimybės
- Sumažės remontinio personalo kiekis

7. IŠVADOS

Distancinės apsaugos plačiai naudojamos aukštos ir labai aukštos įtampos elektros tinkluose ir turi eilę privalumų, bei trūkumų.

Pagrindiniai distancinių apsaugų privalumai yra:

1. Selektyvus veikimas bet kokios konfigūracijos elektros tinkluose su bet kokių šaltinių skaičiumi.
2. Trumpa laiko delsa saugomo ruožo pradžioje, kurią užtikrina pirmoji zona, nes ji apima 85-90% saugomos linijos. Tai būtina užtikrinant patvarumo sąlygas, reikalaujančias greito atjungimo, kai gedimas yra arti elektros pastotės šynų.
3. Didelis jautrumas esant trumpajam jungimui. Didelė nejautra perkrovom ir švytavimams lyginant su maksimalios srovės apsaugomis.

Pagrindiniai distancinių apsaugų trūkumai yra:

1. Pakankamai sudėtingos apsaugos schemas, sudėtingos ir ją sudarančios relės. Distancinės apsaugos kurias sudaro elektromechaninės relės yra daugiausiai turinčios relių ir kontaktų apsaugos. Mikroprocesorinių apsaugų yra sudėtingos loginės schemas. Taip pat jas sudaro labai daug elementų.
2. Negalimas trumpojo jungimo atjungimas su nuliniu laiku visos saugomos linijos ribose. Todėl jos nenaudojamos kaip pagrindinės apsaugos linijose, kur yra tokios sąlygos.
3. Reaguoja į švytavimus ir perkrovas. Tai riboja apsaugos jautrumą ir mažina efektyvumą kaip rezervinės apsaugos gretimuose ruožose. Kad išvengi apsaugos suveikties esant švytavimams, reikia įvesti blokuotę – tai daro apsaugą sudėtingesne.
4. Galima klaidingos apsaugos veiktis, jei atsiranda gedimų įtampos grandinėse – kas sumažina jų, kaip apsaugų, veikimą. Kad to išvengi reikia įvesti atitinkamą blokuotę.

Dabar gaminant distancines apsaugas stengiamasi supaprastinti jų konstrukciją bei padidinti patikimumą. Nepaisant trūkumų, distancinė apsauga yra geriausia apsauga nuo tarpfazinių trumpųjų jungimų, turinti pakankamai greitą veiktį saugant aukštos įtampos 110 kV linijas.

Sėkmingai naudojama kaip pagrindinė apsauga vidutinio ir didelio ilgio linijose.

Įvertintinus tai, jog mikroprocesorinės apsaugos rečiau genda nei elektromechaninės - senas apsaugas reikia keisti šiuolaikinėmis. Mikroprocesorinės apsaugos kaina daug kartų viršija elektromagnetinių relių pagrindu gaminamos apsaugos kainą. Mikroprocesorinės apsaugos panaudojimas užtikrina geresnę elektrotechninių įrenginių apsaugą. Žinoma, ekonominiu požiūriu rekonstrukcijos atsipirkimo laikas yra ilgas, tačiau avarijų pasekmės gali kainuoti brangiau. Vertinant apsaugų bei kitų įrenginių būklę ir sudarant rekonstrukcijų eiliškumą labai svarbu apspresti pastotės svarbą tinkle, jos įrenginių susidevėjimo lygį, prognozuojamas apkrovas, darbų saugą, patikimumą, rizikos laipsnį.

Daug daugiau dėmesio skirti aptarnaujančiam personalui, nes nemažai klaidų lemia kompetencijos stoka. Rekonstrukcijos elektros pastotėse metu keičiant senas apsaugas naujomis mikroprocesorinėmis reiktų apmokyti personalą (specialiais kursais). Personalas turėtų būti supažindinamas su naujovėmis. Ir tik taip įmanoma sumažinti žmogiškojo faktoriaus efektą.

LITERATŪRA

1. Elektros įrenginių įrengimo taisyklės. Vilnius, 2007. 257p.
2. Elektrinių ir elektros tinklo relinės apsaugos ir automatikos įrenginių eksploatavimo reglamentas. Vilnius, 2004. 21p.
3. Н.В.Чернобровов „РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА“. Москва, 1971. 271p.
4. В.С.Алексеев „РЕЛЕ ЗАЩИТЫ“. Москва, 1976. 223p.
5. А.М.Федосеев “РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ“, Москва, 1976. 211p.
6. SIEMENS SIPROTEC 7SA522 „Distance protection“ - SIEMENS AG 1999. 6-27p.
7. ELECTRA, CIGRE magazine, Nr. 209 – August 2003, Optimization of protection performance during system disturbances.
8. Training on siprotec protection devices & software, 2005.
9. NERC Recommendations to prevent and mitigate the impact of future cascading blackouts, draft version 4 – January 26, 2004.
10. D.Virbickas „Sisteminių avarių prevencijos problemos elektros rinkose“ Kaunas, 2004. 228p.
11. J. Augutis, R. Krikštolaitis, E.V. Nevardauskas, D.Šulga „Elektros perdavimo tinklo ir jo įrenginių patikimumo tyrimo metodai“.
12. AB „Lietuvos energija“ perdavimo tinklo Šiaulių skyriaus kasmetinės ataskaitos.
13. Internetas: <http://rza.so-cdu.ru>
14. Internetas: <http://www.siprotec.de>