



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Dovydas Kaulius**

**PERDAVIMO TINKLO PEREINAMŲJŲ PROCESŲ ĮTAKOS  
DISTANCINĖMS APSAUGOMS TYRIMAS**

Baigiamasis magistrantūros projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Almantas Bandza

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**PERDAVIMO TINKLO PEREINAMŲJŲ PROCESŲ ĮTAKOS  
DISTANCINĖMS APSAUGOMS TYRIMAS**

Baigiamasis magistrantūros projektas  
Elektros energetikos sistemos (621H63005)

**Vadovas**

Doc. dr. Almantas Bandza  
2016-06-02

**Recenzentas**

Doc. dr. Gytis Svinkūnas  
2016-06-02

**Projektą atliko**

Dovydas Kaulius  
2016-06-02



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Dovydas Kaulius

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos (621H63005)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Perdavimo tinklo pereinamųjų procesų įtakos distancinėms apsaugoms tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 16 m. Gegužės 23 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, Dovydo Kauliaus, baigiamasis projektas tema „Perdavimo tinklo pereinamųjų procesų įtakos distancinėms apsaugoms tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Kaulius, D. Perdavimo tinklo pereinamųjų procesų įtakos distancinėms apsaugoms tyrimas. *Magistrantūros* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Almantas Bandza; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2016. 49 psl.

## SANTRAUKA

Baigiamajame darbe nagrinėjami pagrindiniai relinės apsaugos veikimo principai bei skaitmeninės technologijos įtaka. Darbo objektu pasirinkta distancinė apsauga, kuri tapo pagrindinė perdavimo linijų apsauga nuo gedimų.

Teorinėje dalyje išnagrinėta skaitmeninės relės struktūra ir veikimas esant įvairioms sistemos sąlygoms, gedimams, taipogi netipiniai elektros sistemos darbo režimai bei jų sukėlimo priežastys. Taip pat yra pateikiami praktiniam pritaikymui naudojami skaičiavimai bei lygtys. Pritaikius teorines žinias buvo sukurtas distancinės apsaugos modelis „Matlab“ programa. Pasitelkus šį modelį buvo nagrinėjama įvairių pereinamųjų procesų įtaka distancinės apsaugos veikimui. Buvo tiriama srovės ir įtampos pokyčių įtaka apsaugai. Iš gautų rezultatų buvo sudarytos išvados.

Reikšminiai žodžiai:

Skaitmeninė distancinė apsauga, skaitmeninė technologija, trumpieji jungimai.

Kaulius, Dovydas. Investigation of transmission network transient processes influence on distance protection. Final project of *master degree* / supervisor doc. dr. Almantas Bandza; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical Energy Systems.

Kaunas, 2016. 49 psl.

## SUMMARY

This study is looking at the principles of operation of relay protection and the influence of digital technologies. The main object of this study is the remote protection, which has become the main transmission line protection against fault.

The theoretical part of this paper examines the structure of digital relay and its operation under various conditions such as the failure of the electrical system also atypical operating modes and their induction causes. It also presents the practical application of the equation used for calculations.

After applying the theoretical knowledge and using Matlab program the remote protection model has been developed. With the help of this model various transients impact on the operation of the remote protection was examined. It tested the current and voltage changes impact on protection. Conclusion of this paper was formed with the results obtained.

Keywords:

Digital distance protection, digital technology, short-circuit.

## Turinys

SANTRAUKA .....	4
SUMMARY .....	5
LENTELIŲ SĄRAŠAS .....	8
ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS .....	8
SANTRUMPOS .....	10
ĮVADAS.....	11
1. TRUMPA LITERATŪROS APŽVALGA .....	12
2. ISTORIJA, TECHNINĖ PAŽANGA .....	12
3. RELINĖ APSAUGA.....	14
4. ELEKTROS SISTEMOS STABILUMAS .....	16
4.1. Pereinamieji procesai elektros sistemose .....	16
4.2. Elektros sistemos dažnis.....	17
4.3. Įtampa .....	17
5. LINIJŲ DISTANCINĖS APSAUGOS .....	18
5.1. Skaitmeninių relijų apžvalga .....	19
5.2. Distancinė apsauga .....	21
5.3. Distancinės apsaugos veikimo principai.....	22
5.4. Varžos schemas .....	27
5.5. Kryptinė pilnos varžos distancinės apsaugos charakteristika.....	29
5.6. Nekryptinė pilnos varžos distancinės apsaugos charakteristika .....	30
5.7. Trumpųjų jungimų varžų matavimo būdai .....	31
5.8. Distancinių apsaugų funkcijos.....	33
5.9. Galios švytavimai elektros sistemoje .....	34
5.10. Galios švytavimo atpažinimas apsaugose .....	35
6. TIRIAMOJI DALIS .....	37
6.1. Pereinamųjų procesų įtaka distancinei apsaugai .....	37

6.2. Įtampos švytavimų įtaka distancinei apsaugai.....	44
IŠVADOS .....	46
LITERATŪRA.....	47
PRIEDAI.....	49
1 priedas. Daugiakampės charakteristikos „Matlab“ failas.....	49

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Skaitmeninės relinės apsaugos ir automatikos apžvalga .....	20
2 lentelė. Skaitmeninės apsaugos galimi nustatymai.....	20
3 lentelė. Gedimo varžų matavimo būdai.....	31
4 lentelė. Elektros sistemos parametrai .....	40
5 lentelė. Charakteristikos parametrai .....	41

## ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

3.1 pav. Trumpieji jungimai .....	14
3.2 pav. Apsaugos selektyvumo schema .....	15
3.3 pav. Apsaugos jautrumas.....	15
5.1 pav. Skaitmeninės relinės apsaugos ir automatikos įrenginio vidinė logika.....	19
5.2 pav. Apsaugos vidinė logika.....	21
5.3 pav. Apsaugos schema.....	22
5.4 pav. Distancinės apsaugos struktūrinė schema.....	23
5.5 pav. Distancinės apsaugos varžos charakteristikos. A) - Apskritimas; B) paslinktas apskritimas; C) daugiakampė. ....	23
5.6 pav. Distancinės apsaugos veikimo charakteristika .....	24
5.7 pav. Kryptinė apsaugos varžos charakteristika .....	25
5.8 pav. Kryptinės apsaugos selektyvumo schema .....	27
5.9 pav. Daugiakampė apsaugos charakteristika .....	28
5.10 pav. Kryptinės apsaugos charakteristika .....	30
5.11 pav. Nekryptinės apsaugos charakteristika.....	31
5.12 pav. Distancinės apsaugos loginė schema, esant gedimui $K^2$ .....	32
5.13 pav. Trumpasis jungimas $K^2$ .....	32
5.14 pav. Trumpasis jungimas $K^1$ .....	33
5.15 pav. Įtampos kitimas.....	35



5.16 pav. Švytavimų trajektorija.....	35
5.17 pav. Švytavimų atpažinimas.....	36
6.1 pav. Vienlinijinė modelio schema .....	38
6.2 pav. Apsaugos modelis.....	39
6.3 pav. Furjė transformacijos matavimų blokai .....	39
6.4 pav. Elektros sistemos modelis.....	41
6.5 pav. Įtampos dydis TJ metu.....	42
6.6 pav. Srovės dydis TJ metu.....	42
6.7 pav. Srovės reikšmė gauta po Furjė transformacijos .....	43
6.8 pav. Distancinės apsaugos veikimo charakteristika ( $K^1$ ).....	43
6.9 pav. Distancinės apsaugos veikimo charakteristika ( $K^3$ ).....	44
6.10 pav. Apsaugos reakcija į įtampos švytavimą.....	45
6.11 pav. Gedimas įtampos švytavimo metu.....	45

## SANTRUMPOS

Apsauga – įtaisas, išjungiantis saugomą elektros sistemos elementą, atsiradus gedimui.

Relinė apsauga ir automatika – įtaisai, kurie stabdo avarijų plitimą ir padeda palaikyti elektros energijos kokybę.

Skaitmeniniai RAA įrenginiai – įtaisai, kuriose matavimus, logines funkcijas atlieka mikroprocesoriai.

Skaitmeninė distancinė apsauga – apsauga, naudojanti mikroprocesoriaus technologiją, veikimo algoritmų skaičiavimui.

Varžos charakteristika – kompleksinėje plokštumoje nustatyta tam tikra zona, kurioje yra realiųjų ir menamųjų varžų vertės (R-X), atitinkanti avarinę situaciją.

Trumpasis jungimas – normaliomis darbo sąlygomis nenumatytas sujungimas tarp fazių.

Ižemėjimas – sistemose su izoliuota ar kompensuota neutrale vienos ar kelių fazių sujungimas su žeme.

RAA – Relinė apsauga ir automatika.

RA – Relinė apsauga.

DA – Distancinė apsauga.

MSA – Maksimalios srovės apsauga.

ASK – Analoginis-skaitmeninis keitiklis.

ES – Elektros sistema.

TJ – Trumpasis jungimas.

DFT – diskretinė Furjė transformacija.

SCADA – valdymo priežiūros ir duomenų surinkimo sistema (pagal anglišką pavadinimą - Supervisory Control and Data Acquisition).

## IVADAS

Lietuvoje yra gerai išplėtotas elektros perdavimo tinklas, tačiau didelė dalis 330-110 kV elektros tinklo įrenginių pastatyti daugiau kaip prieš trisdešimt metų ir yra pasiekę ar net viršiję savo ekonomišką eksploatacavimo laiką. Norint užtikrinti patikimą elektros energetikos sistemos darbą būtina sekti senų transformatorių pastatų techninę būklę ir atlikti joms reikalingus modernizavimo darbus. Renovuojant nusidėvėjusias pastotes montuojama moderni elektros įranga, statomi nauji įrenginiai, kurie leidžia užtikrinti patikimesnę elektros energijos tiekimą, esant bet kokioms oro sąlygoms. Bet ir moderniausioje elektros sistemoje gedimai yra neišvengiami, kurios sukelia atmosferiniai faktoriai ar kiti išoriniai poveikiai. Juos galima tik kontroliuoti pasitelkiant relinės apsaugos ir automatikos įrenginius (RAA). RAA įrenginiai yra atsakingi už greitą gedimo likvidaciją. Todėl galima tvirtinti, kad patikimą elektros tiekimą galima realizuoti tikta automatizavus elektros gamybos, perdavimo, skirstymo procesus.

Šiuolaikinėje elektros sistemoje, atliekant modernizavimo darbus, seni elektromechaniniai reliniai prietaisai keičiami skaitmeniniais mikroprocesoriniais įrenginiais, kurie pasižymi dideliu funkcionalumu, lengvu pritaikymu. Kadangi elektros perdavimo tinklas yra vienas iš svarbiausių sistemos dalių, todėl jo patikimas veikimas yra ypač aktualus. Viena svarbiausių perdavimo tinklo apsaugų yra distancinė apsauga. Jai sutrikus ar klaidingai suveikus galimi didžiuliai nuostoliai. Todėl svarbu suprasti apsaugos veikimo principus.

Pirmajame rašto darbo skyriuje bus apžvelgiami leidiniai susiję su nagrinėjama tema. Antrajame skyriuje pateikiama trumpa elektros sistemų vystymosi istorija. Trečiame skyriuje nagrinėjami relinės apsaugos ypatumai, techniniai reikalavimai. Ketvirtajame rašto darbo skyriuje bus aptariami elektros sistemos stabilumą įtakojantys veiksniai. Penktajame skyriuje bus nagrinėjami distancinės apsaugos veikimo principai bei papildomų funkcijų reikšmė apsaugoms. Šeštajame rašto darbo skyriuje bus tiriami distancinės apsaugos veikimo principai, nustatoma pereinamųjų procesų įtaka apsaugai.

Taigi šio tyrimo tikslas išsiaiškinti įvairių gedimų priežastis bei iširti distancinės apsaugos veikimo ypatybes tinkle esant pereinamiesiems procesams.

Darbe iškeliami toki uždaviniai:

1. Išsiaiškinti distancinės apsaugos veikimo principus.
2. Atlikti distancinių apsaugų funkcijų tyrimą.
3. Išnagrinėti apsaugos reakciją į pereinamuosius procesus.
4. Sukurti distancinės apsaugos veikimo modelį bei atlikti apsaugos tyrimą.

## 1. TRUMPA LITERATŪROS APŽVALGA

Energetikos sistemos dalį, kuri gamina, perduoda, skirsto elektros energiją, įprasta vadinti elektros sistema. Ji susideda iš kelių svarbių dalių: elektrinių, perdavimo ir skirstomųjų tinklų, vartotojų. Norint užtikrinti patikimą sistemos darbą būtina į jas integruoti relinės apsaugos ir automatikos įtaisus, kurie iškilus gedimams atliktų apsaugos funkciją.

Viena svarbiausių perdavimo tinklo apsaugų - distancinė apsauga. Apsauga pasaulyje yra plačiai naudojama, ji išsiskiria dideliu funkcionalumu bei papildomų funkcijų bagažu (apsaugų blokavimu įtampos švytavimo metu, apsaugų greitinimu, jungtuvo rezervavimo funkcija, sinchronizmo kontrolė bei kitomis). Gerhard Ziegler savo knygoje „Numerical distance protection“ teigia, kad norint suprasti distancinės apsaugos veikimą iš pradžių reikia išmokyti sudaryti ir išsiaiškinti apsaugos veikimo charakteristiką. Bei pateikia praktinių pavyzdžių, kurie padeda įsisavinti medžiagą.

Pereinamieji procesai elektros sistemoje kyla dėl įvairių priežasčių: apkrovos pasikeitimo, linijų įjungimų ar išjungimų, ko pasekoje apsauga gali klaidingai suveikti. Todėl naudojamos priemonės siekiant išvengti tokių pasekmių. James P. Kelly knygoje „Modeling and simulation of power system relay protection“ pateikia pereinamųjų procesų sistemoje kilimo priežastis bei aiškina distancinės apsaugos blokavimo funkcijų naudojimo svarbą sistemoje vyraujant nenormaliems režimams.

U. J. Patel atliko distancinės apsaugos blokavimo tyrimą tinkle esant įtampos švytavimams bei parašė straipsnį, kuriame pateikia apsaugos modelį, skaičiavimo formules ir iškilusias problemas modeliuojant darbą.

Pereinamųjų procesų įtaka apsaugoms nėra plačiai išnagrinėta, todėl remiantis minėta bei papildoma literatūra, baigiamajame darbe bus tiriama šių procesų įtaka distancinei apsaugai.

## 2. ISTORIJA, TECHNINĖ PAŽANGA

Šiuolaikinio žmogaus gyvenimas neįsivaizduojamas be elektros. Elektra didele dalimi nulemia žmonių gyvenimo kokybę, sudaro sąlygas tolesnei pažangai. Elektra pasidarė tokia svarbi visuomenės gyvenime šiek tiek daugiau kaip per šimtmetį. Pirmosios elektrinės atsirado 1882 metais Londone, Niujorke, Milane.

Lietuvos elektros ūkio istorijoje pirmą ir garbingiausią vietą užima Rietavas. Kunigaikštis Oginskis, sužinojęs apie Belgijos staliaus Grammo išradimą ir jo realizavimą, pirmasis sumanė šį

išradimą panaudoti ir įkūrė Rietavo dvare pirmąją Lietuvoje elektrinę. Jis nesitenkino vien savo dvaro komfortu, elektros linija buvo nutiesta ir į miestelį. Taip šis mokslo ir technikos išradimas pasiekė ir Rietavo gyventojų namus. Tai buvo 1892 m. Oginskio elektros įrengimai išsilaikė iki pat Pirmojo pasaulinio karo, kurio metu įrengimai buvo apgadinti.

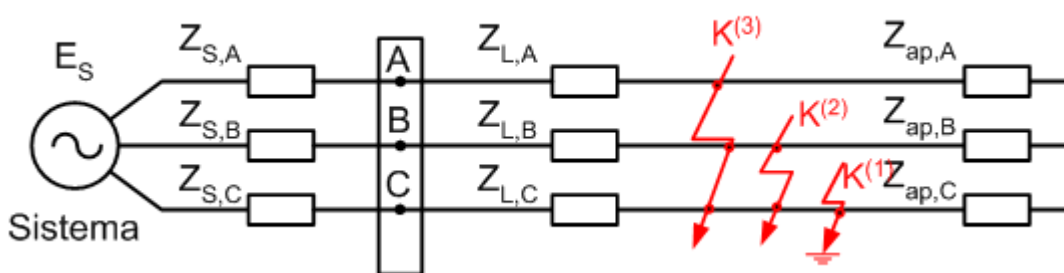
Tolesnis elektros energetikos vystymasis Lietuvoje - pirmosios elektros linijos, skirtos platesniam vartotojų ratui, atsirado pastačius viešąsias elektrines: 1900m. Kaune ir Klaipėdoje, 1903m.-Vilniuje, vėliau ir kitose vietovėse. 1900 m. iš Eitkūnų į Kybartus buvo pastatyta ir pirmoji tarpvalstybinė elektros linija. Linijoms naudoti tik variniai laidai. Kaune skirstomosios elektros linijos daugiausia buvo orinės, kurių 88% izoliatorių buvo moliniai. Klaipėdoje nemaža dalis linijų buvo kabelinės, o Smiltynės apšvietimui per Kuršių marias buvo paklotas povandeninis kabelis.

Dabar daugumai žmonių elektra tapo įprastu dalyku – paspaudei jungiklį, užsidegė šviesa, įsijungė televizorius. Didele dalimi prie to prisideda patikimai veikianti energetikos sistema.

Energetikos sistema – sudėtinga žmonių sukurta mašina, skirta apsirūpinti elektra. Ją galima laikyti sudėtingu dirbtiniu milžinišku organizmu, kuris kartais apima visą valstybę ar net kelias valstybes, jos veikimą apsprendžia fizikos dėsniai, bet didelę įtaką turi ir ekonomika, politika bei teisinė sistema [1]. Energetikos sistemų formavimas prasidėjo dvidešimto amžiaus antrame dešimtmetyje, kai siekiant didesnio elektros tiekimo veiksmingumo ir patikimumo elektrinės pradėtos sujungti elektros tinklais. Energetikos sistemą sudaro elektrinės, kurios gamina elektrą, elektros perdavimo tinklai, kurių linijomis elektra perduodama dideliais atstumais, elektros skirstymo tinklai, kurių linijomis elektra iš perdavimo tinklų ir mažų elektrinių tiekama vartotojams. Elektros tinklų pastotėse sujungiamos elektros linijos, o dažnai ir pakeičiama (transformuojama) įtampa. Taigi energetikos sistema aprūpina kokybiška elektros energija kiekvieną vartotoją. Bet kaip ir kiekvienam daiktui reikia priežiūros, taip ir sistema negali veikti be priežiūros. Nors ir retai, tačiau elektros sistemose įvyksta gedimai, avarijos. Pavyzdžiui 2003 m. elektros stygių teko pajusti Šiaurės Amerikos gyventojams. 1999 m. pietų Brazilijoje įvyko avarija, kuri paliko be elektros energijos apie 97 milijonus šalies gyventojų. Todėl norint išvengti labai sunkių gedimų, energetikos sistemoje yra naudojami relinės apsaugos ir automatikos įrenginiai, kurie užtikrina patikimą sistemos darbą. Iš pradžių energetikos sistemoje buvo diegiamos elektromechaninės relės, kurias sudarė judančios dalys. Tobulėjant technikai buvo sukurtos skaitmeninės apsaugos. Dabar rekonstruojant pastotes vis dažniau elektromechaninės relės keičiamos skaitmeninėmis.

### 3. RELINĖ APSAUGA

Dėl žalingų aplinkos poveikių: stipraus vėjo, šalto oro (apledėjimo), įrenginių ilgo eksploatavimo laiko, izoliacijos senėjimo, virš įtampių, aptarnaujančio personalo klaidų atliekant įrenginių valdymo operacijas. Elektros sistemoje atsiranda įvairių gedimų, dažniausiai tai trumpieji jungimai tarp fazių ar tarp fazių ir žemės. (3.1 pav.  $K^3$  – trifazis trumpasis jungimas,  $K^2$  – dvifazis,  $K^1$  – vienfazis).



3.1 pav. Trumpieji jungimai

Trumpasis jungimas (toliau - TJ) – tai normaliomis darbo sąlygomis nenumatytas sujungimas tarp fazių, o elektros sistemose (toliau - ES) su įžeminta neutrale – taip pat vienos ar kelių fazių sujungimas su žeme [2]. Įvykus trumpajam jungimui, sumažėja sistemos varžos, atskirose grandyse padidėja srovės, o mazguose sumažėja įtampos. Toki elektros kokybės parametrų svyravimai gali pakenkti elektros imtuvams. Trumpojo jungimo metu elektros tinkluose teka didelės srovės, žalingai veikiančios elektros įrenginius. Todėl tokie gedimai elektros sistemoje turi būti greitai šalinami, atjungiant nuo elektros tinklo pažeistą elementą. Tai gali atlikti specialūs automatiniai įrenginiai, vadinami relinėmis apsaugomis (toliau - RA), sudaryti iš elektromagnetinių ir puslaidininkinių elementų, kurie dažnu atveju pažeistą elementą išjungia per šimtąsias sekundės dalis.

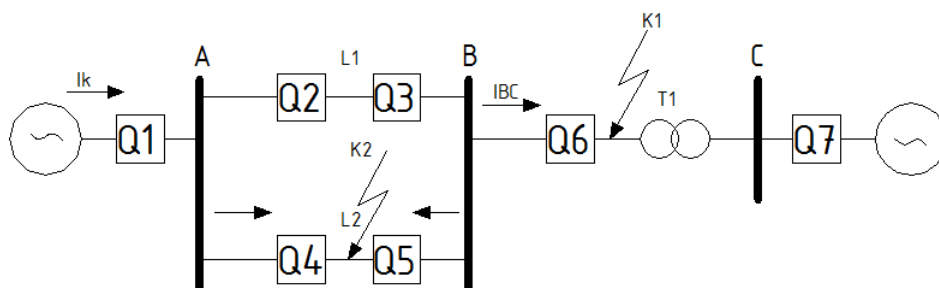
Elektros sistemose naudojamus relinės apsaugos įtaisus galima suskirstyti į tokias grupes:

1. Relinę apsaugą, kurios paskirtis greitai išjungti sugedusius ar pavojingus režimus patiriančius įrenginius;
2. Relinę priešavarinę automatiką (automatinio kartotinio įjungimo, automatinio rezervo įjungimo, automatinio dažninio nukrovimo ir kiti įtaisai), kurių paskirtis vykdyti valdymo operacijas greitai atkuriančias sutrikdytą elektros tiekimą ir stabdančias avarių plitimą;

3. Reguliavimo automatiką (generatorių įtampos bei dažnio reguliatoriai, transformatorių įtampos reguliatoriai, kondensatorių baterijų galios ir kiti automatinio valdymo įtaisai), kurios paskirtis palaikyti elektros energijos kokybę ir optimalius režimus [3].

Pagrindiniai relinės apsaugos techniniai reikalavimai:

- Greitumas – apsaugos gebėjimas kuo greičiau išjungti pažeistą elementą.
- Selektivumas – relinė apsauga, išjungianti jungtuvus, turi veikti selektyviai, t. y. taip, kad būtų išjungiamas tik sugedęs objektas (arčiausiai nuo trumpojo jungimo vietos esantys jungtuvai).



3.2 pav. Apsaugos selektivumo schema

Trumpajam jungimui įvykus taške K<sub>1</sub> relinė apsauga turi reaguoti į gedimą ir išjungti atkarpą BC jungtuvu Q6 (arčiausiai gedimo vietos esantį jungtuvą). Gedimui įvykus taške K<sub>2</sub> relinė apsauga turi išjungti liniją L2 jungtuvu Q4 (atsižvelgiant į srovės kryptį). Tinkamai suderinta apsaugos sistema visada atjungs tik pažeistą tinklo dalį, neišjungdama kitų sistemos dalių.

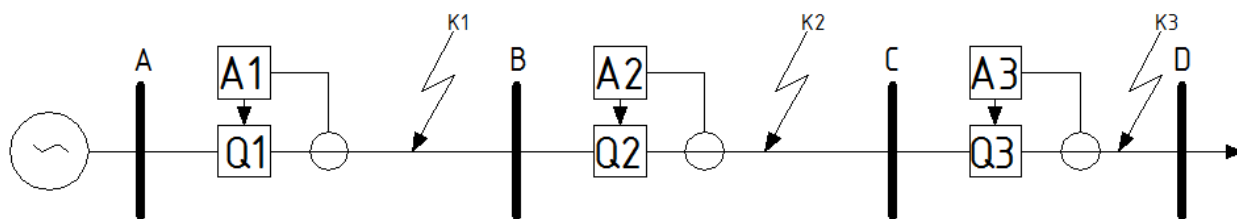
- Jautrumas - apsaugos sugebėjimas reaguoti į mažiausius saugomo objekto gedimus.

Vertinamas apsaugos jautrumo koeficientu:

$$k_j = \frac{I_{kmin}}{I_{pov}} \quad (1)$$

$I_{kmin}$  – mažiausia trumpojo jungimo srovė, saugomam objektui;

$I_{pov}$  – nustatyta apsaugos poveikio srovė.



3.3 pav. Apsaugos jautrumas

Relinės apsaugos sistema turi būti jautri trumpiesiems jungimams ir užtikrinti apsaugų rezervavimą. Jei TJ įvyko taške K1 apsauga A1 turi atjungti linijos atkarpą AB. Jeigu dėl gedimo neišsijungia jungtuvas Q1, apsauga A1 turi būti pakankamai jautri, kad sugebėtų atjungti jungtuvą Q2.

- Patikimumas – apsaugos gebėjimas vykdyti funkcijas, viso eksploataavimo metu.
- Veikimo pastovumas – užtikrintas ir teisingas apsaugos veikimas prie pažeidimų saugomame elemente ir nereagavimas į nenormalumus už jo ribų.

Apibendrinant techninius reikalavimus galima daryti išvadą, kad apsauga, esant gedimui jos saugomoje zonoje, privalo suveikti ir išjungti saugomą objektą. Neveikti jei užfiksuotas gedimas yra už saugomos zonos ribų. Taipogi neveikti, jei avarijų elektros sistemoje nėra esamu metu.

Elektros sistemą sudarantys pagrindiniai objektai (elektrinės, pastotės, linijos, vartotojai) yra išdėstyti didelėse teritorijose ir nutolę vieni nuo kitų. Jų apsaugą atlieka relinės apsaugos ir automatikos įtaisai integruoti į bendrą sistemą. Pagrindinius tokių įtaisų tikslus galima įvardyti:

- Rinkti informaciją apie saugomą sistemos elementą ( srovė, įtampa, t.t);
- Išskirti pagrindinę dedamąją : amplitudė, fazių skirtumą, varžą ir t.t;
- Palyginti matuojamą momentinę vertę su nustatyta poveikio verte;
- Pritaikyti tam tikrus uždelsimus;
- Formuoti komutacinio aparato išjungimo komandą.

Taigi relinės apsaugos įtaisai turi išjungti komutavimo aparatus (jungtuvus) ir likviduoti trumpuosius jungimus per kuo trumpesnę laiką, išsaugodami nepažeistos elektros energetikos sistemos dalies nenutrūkstamą veikimą ir apribodami sugedusio elektros energetikos sistemos objekto pažeidimo laipsnį ir apimtį [3].

## **4. ELEKTROS SISTEMOS STABILUMAS**

### **4.1. Pereinamieji procesai elektros sistemose**

Elektros sistemoje visi generatoriai sukasi sinchroniškai sistemos dažniu (50 Hz). Sistemos sugebėjimas užtikrinti sinchroninį darbą yra vadinamas sistemos stabilumu [4].

Įjungiant ar atjungiant linijas, transformatorius ar įvykus trumpiesiems jungimams elektros sistemoje kyla pereinamieji procesai. Tokie trikdžiai įtakoja sistemos generatorių darbą, padidina



ar sumažina generatoriaus sukimosi greitį, sukelia tam tikrą generatorių galios pasikeitimą, kuris verčia generatorius sugrįžti į bendrą sistemos generatorių sukimosi greitį, t.y. išlaikyti sistemos dažnį. Nestabili elektros sistemos būseną, kai dėl vienokių ar kitokių trikdžių generatorių sukimosi greitį stabilizuojantis procesas nepasibaigia ir kai kurių generatorių sukimasis pradeda didėti ar mažėti kitų generatorių atžvilgiu, t.y. pradeda sukintis nesinchroniškai. Tai gali sutrikdyti sistemos darbą. Tokiu atveju generatorių reikia atjungti nuo tinklo.

Priklausomai nuo trikdžių dydžio yra skiriamos dvi stabilumo rūšys – statinis stabilumas ir dinaminis stabilumas. Sistemos statiniu stabilumu laikoma sistemos sugebėjimas atlaikyti mažus trikdžius - apkrovų pokyčius. Sistemos dinaminis stabilumas laikomas sistemos gebėjimas atlaikyti didelius trikdžius, tokius kaip generatorių atsijungimus, elektros linijų gedimus (trumpuosius jungimus).

#### **4.2. Elektros sistemos dažnis**

Elektros sistemoje nuolat palaikomas pastovus dažnis (50 Hz), kuris gali svyruoti mažose ribose. Dažnis valdomas reguliuojant pagaminamą elektros energiją su suvartojama t.y. kiek elektros energijos yra pagaminama tiek jos turi būti suvartojama. Dažnio sumažėjimas rodo, kad elektros sistemoje elektrinės generuoja mažiau galios nei vartotojai gali sunaudoti. Dažnio padidėjimas rodo, kad galios generuojama daugiau negu jos suvartojama. Neleistiną dažnio sumažėjimą sistemoje sukelia didelis generuojamos galios trūkumas ( $P_G < P_A$ ), kuris atsiranda dėl generatoriaus ar elektrinės, perdavimo linijų atjungimo. Toks režimas gali įtakoti sistemos nestabilią būseną, todėl privalo būti likviduotas. Dėl to elektros sistemose didelis dėmesys yra skiriamas pastovaus dažnio palaikymui. Tam tikslui panaudojamos sudėtingos dažnio reguliavimo sistemos, kurios reaguoja į dažnio nuokrypius.

#### **4.3. Įtampa**

Elektros sistemose neįmanoma išvengti trumpalaikių, iki kelių sekundžių trukmės, didesnių įtampos sumažėjimų ar padidėjimų – įtampos svyravimų. Juos sukelia generatorių ar elektros linijų atjungimai ar įjungimai, trumpieji jungimai elektros tinkluose. Įtampos svyravimus gali sukelti ir didelių elektros imtuvų įjungimas ar išjungimas. Įtampos dydis atskiruose elektros tinklo taškuose priklauso nuo įtampos ant atskirų generatorių gnybtų, nuo galios srautų elektros tinkle ir tinklo parametrų, nuo elektros imtuvo pareikalaujamos galios, nuo įtampos reguliavimo įtaisų darbo.

Įtampos nuokrypiai svarbūs ne tik vartotojų įrenginiams, bet ir elektros perdavimo tinklų bei pačios sistemos darbui. Jei skirstomuosiuose elektros tinkluose leistinus įtampos lygius apsprendžia vartotojų elektros imtuvų darbo sąlygos, tai didžiausias leistinas įtampa elektros perdavimo tinkluose lemia elektros įrenginių izoliacija, tiksliau, jos atsarga. Kuo aukštesnė įtampa, tuo mažesnė santykinė izoliacijos atsarga, nes aukštesnei įtampai reikia brangesnės izoliacijos. Elektros perdavimo tinkluose pavojų kelia ir per žema įtampa. Dėl per žemos įtampos gali sutrikti elektrinių lygiagretus darbas, t.y. sistemos stabilumas [1].

Aukščiau aprašytų elektros sistemų parametrų valdymas vyksta visą sistemos eksploatavimo laiką. Pereinamuosius procesus sistemoje sukelia įvairūs trikdžiai: linijų, transformatorių, apkrovų atjungimai ar įjungimai, trumpieji jungimai, kurie sąlygoja įtampos, dažnio svyravimus. Į tokius sistemos parametrų kitimus privaloma reaguoti, kad būtų apsisaugota nuo sisteminių avarių, dėl kurių nemaža dalis gyventojų liktų be elektros energijos. Todėl tokiems tinklo režimams kontroliuoti naudojami relinės apsaugos ir automatikos įrenginiai. Terminalai yra užprogramuoti tinkamai reaguoti į pasikeitusią situaciją tinkle (svyravimus). Reagavimui į pereinamuosius procesus yra naudojamos įvairios RAA funkcijos (automatinis dažnio reguliavimas, įtampos reguliavimas, veikimo blokavimo funkcijos, kondensatorių baterijos galios ir kiti automatinio valdymo įtaisai), kurie veikia nuolatos, palaikydami tam tikrose ribose elektros sistemos režimo pagrindinius dydžius.

## **5. LINIJŲ DISTANCINĖS APSAUGOS**

330-110 kV įtampos perdavimo linijų pagrindinę apsaugą sudaro distancinė ir kryptinės nulinės sekos srovės apsaugos. Skaitmeniniuose mikroprocesoriniuose terminaluose šios apsaugos yra viename įrenginyje. Priklausomai nuo tinklo schemos distancinė apsauga naudojama su daugiakampe apsaugų charakteristika bei papildomomis funkcijomis (apsaugų greitinimu jungiant jungtuvą į trumpąjį jungimą, apsaugų blokavimu atsiradus įtampų švytavimui ar asinchroninio darbo režimui), kurios užtikrina patikimą apsaugos veikimą kintant elektros sistemos darbo režimui. Todėl tampa svarbu suprasti distancinės apsaugos veikimo ypatybes, norint teisingai suprojektuoti apsaugos veikimo schemas.

Šiame skyriuje bus nagrinėjamos distancinės apsaugos veikimo charakteristikos, tiriami veikimo principai bei papildomų funkcijų svarba apsaugos veikimui. Taipogi bus pateikiami praktiniam pritaikymui naudojami skaičiavimai.

## 5.1. Skaitmeninių relių apžvalga

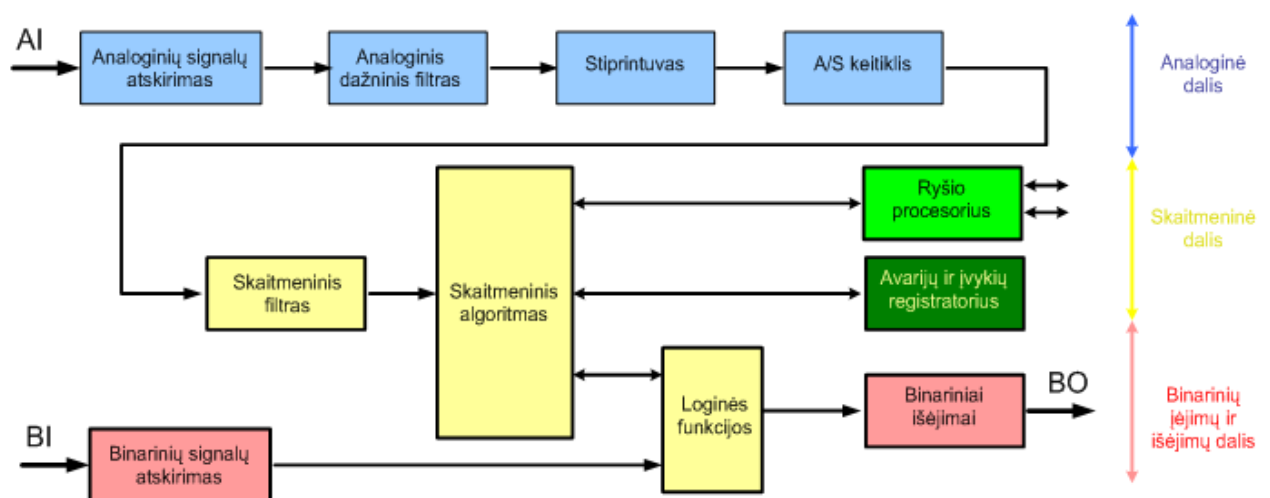
1920 m. distancinė apsauga buvo sukurta ir nuo tada nuolat tobulinama. Iš pradžių ją sudarė elektromechaniniai įrenginiai, kurie laikui bėgant tobulėjo. Didžiausias šuolis relinės apsaugos vystymuisi buvo pasiektas 1985 m., kai buvo sukurta konstrukcija naudojanti puslaidininkius (mikroprocesorių technologija), kuri leido sukurti skaitmeninės relės.

Dabar skaitmeninės relės sudaro atskiros plokštelės su integruotais elektronikos elementais (varžomis, kondensatoriais, transformatoriais ir t.t.). Šiuolaikinės mikroprocesorinės apsaugos realizuojamos ne relėmis, o programomis, kurios įrašomos į mikroprocesorinių sistemų atmintį. Todėl šios apsaugos gali atlikti įvairias funkcijas.

Skaitmeninį relinės apsaugos ir automatikos įrenginį sudaro analoginė bei skaitmeninė dalis. Analoginėje dalyje vyksta signalo keitimas į skaitmeninį signalą, panaudojant analoginį skaitmeninį keitiklį (toliau – ASK). Pakeistas signalas toliau perduodamas mikroprocesoriui.

Skaitmeninė dalis atsakinga už tikslų įrenginių valdymą, informacijos atvaizdavimą. Informacijos vaizdavimui naudojami šviesos diodai (LED), įvairaus dydžio skystųjų kristalų ekranai. Valdymą sudaro binariniai įėjimai bei binariniai išėjimai. Šie komutaciniai išėjimai yra galvaniškai atskirti nuo kitų relės dalių, kad gedimo atveju nepažeistų jų.

Skaitmeninė relė turi vidinę atmintį, kurioje įrašo avarinio proceso srovės, įtampas, komutacinių išėjimų reikšmės. Atsimena įrašytą vidinę logiką, kurioje talpinama informacija apie apsaugų veikimą, komutacinių įrenginių valdymą.



5.1 pav. Skaitmeninės relinės apsaugos ir automatikos įrenginio vidinė logika

1 lentelė. Skaitmeninės relinės apsaugos ir automatikos apžvalga

Eil. Nr.	Privalumai	Trūkumai
1.	Įvykių su laiko žyme registravimas	Įranga sudėtinga ir brangi
2.	Elektros kokybės parametrų fiksavimas	Jautri elektromagnetiniams trikdžiams
3.	Lankstumas, naujų funkcijų įvedimas	Skirtingų gamintojų nesuderinamumas
4.	SRAA vidinių funkcijų diagnostika	Dažna versijų kaita
5.	Ryšių sistemų supaprastinimas	Sumažėjęs saugumas, kibernetinio įsilaužimo galimybės
6.	Dispečerinio valdymo sistemų galimybių padidinimas	
7.	Sumanios EES sukūrimo galimybės	
8.	Gabaritų sumažinimas	

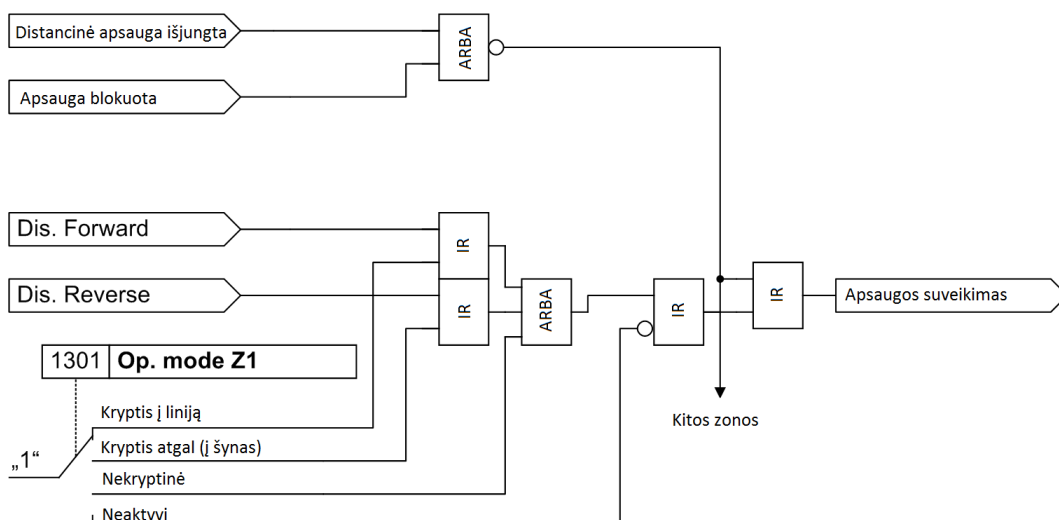
Skaitmeninės apsaugos tapo labiau informatyvesnės ir pagal konstrukciją žymiai skiriasi nuo analoginių. Skaitmeninės relės tapo kompaktiškomis (užima sąlyginai nedaug vietos), patikimomis, greitai suveikiančiomis, daugiafunkcinėmis (galimybė programuoti). Įtaisyti savidiagnostikos ir signalizacijos moduliai, parodo ekrane gedimą, kas palengvina gedimų diagnostiką. Dėka skaitmeninių apsaugų didelio informatyvumo gedimai matavimo transformatorių grandinėse, jungtuvų pavarose ir t.t. nustatomi gavus atitinkamą signalą, aptarnaujančiam personalui tampa lengviau eksploatuoti įrenginius. Taip, praktiškai visi skaitmeniniai įrenginiai gali pateikti informaciją apie kontroliuojamus dydžius, įėjimo ir išėjimo valdymo signalus. Analizuojant šiuos davinius, savalaikiai galima nustatyti nutrūkimus įėjimo ir išėjimo grandinėse. Pagal informaciją, įsimenamą avariniuose režimuose (trumpų jungimų skaitmeninės reikšmės, gautus signalus ir t.t.) galima išanalizuoti gedimą ir atlikti reikiamas operacijas siekiant, kad toks gedimas nepasikartotų.

Šiuolaikiniai prietaisai yra daugiafunkciniai ir gali įgyvendinti įvairias apsaugos funkcijas. Skaitmeninėje apsaugoje galima užprogramuoti įvairius veikimo algoritmus.

2 lentelė. Skaitmeninės apsaugos galimi nustatymai

Funkcijos numeris	Pranešimas	Paaiškinimas
1301	Op. mode Z1	Pirmos zonos veikimo režimas
1302	R (Z1)	Aktyviosios varžos reikšmė
1303	X (Z1)	Reaktyviosios varžos reikšmė
1304	RE (Z1)	Įžemėjimo varžos reikšmė
1305	T-delay	Išjungimo laiko delsa
1307	Zone reduction	Charakteristikos kampo nustatymas
1308	Iph> (Z1)	Minimali srovės reikšmė reikalinga pradėti skaičiavimą

Pastaba: Analogiškos funkcijos naudojamos kitoms distancinės apsaugos suveikimo zonoms.



5.2 pav. Apsaugos vidinė logika

Apsaugos suveikimas priklauso nuo tekančios srovės ir įtampos dydžio, parinkto režimo (Nr.1301), papildomų funkcijų veikimo. Atjungimo signalas į komutuojamą įrenginį paduodamas tik tuo atveju, kai tinklo varžos dydis atitinka nustatytas apsaugos veikimo reikšmes (Nr. 1302,1303,1304).

## 5.2. Distancinė apsauga

Distancinė apsauga yra viena pagrindinių perdavimo tinklo apsaugų. Ji pasižymi aukšto tikslumo matavimais, lengvu prisitaikymu įvairiuose tinklų struktūrose ir turi eilę papildomų funkcijų.

Nors įprasta distancinė apsauga, paremta elektromechaninėmis arba statinėmis technologijomis, vis dar yra plačiai naudojama, tačiau šiandien moderniausi yra daugiafunkciniai mikroprocesorių prietaisai. Jie sąveikauja su centralizuotomis valdymo sistemomis (SCADA) ir gali būti valdomi naudojant asmeninius kompiuterius tiek vietoje, tiek nuotoliniu būdu.

Šie skaitmeniniai prietaisai tapo išmaniais. Jie gali saugoti informaciją bei sąveikauti su kitais prietaisais. Šie gebėjimai iš esmės sukuria naujas idėjas, siekiant pagerinti apsaugos kokybę. Dėl apsaugos taikymo ir valdymo kyla visiškai naujų aspektų. Analoginio signalo apdorojimas bei skaitmeninis matavimo režimas suteikia didesnę tikslumą bei trumpesnį išjungimo laiką, esant įvairiems gedimams linijose. Be to, skaitmeniniai vertinimo režimai pagerina selektyvumą, netgi sudėtingose gedimų situacijose. Šiuolaikiniai prietaisai yra

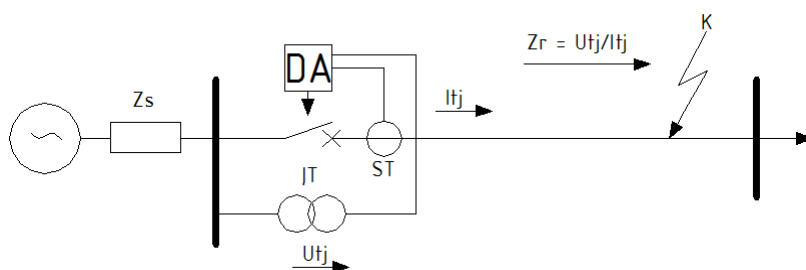
daugiafunkciniai ir taip gali įgyvendinti apsaugos funkcijas, taip pat papildomas funkcijas kitoms užduotims, pavyzdžiui, veiklos matavimams (srovės, įtampos, dažnio, galios ir kt.) ir trikdžių įrašams.

### 5.3. Distancinės apsaugos veikimo principai

Trumpojo jungimo metu linijoje sumažėja įtampa, o kartu kinta ir varža. Jos veikimo charakteristika, gedimo metu, remiasi srovės ir įtampos matavimais tinkle ir nustato ar linijoje yra gedimas [5]. Distancinė apsauga nustato gedimo varžą pagal išmatuotą trumpojo jungimo srovę bei įtampą, esančią relėje. Išmatuota gedimo varža relėje lyginama su žinoma linijos varža (žinoma varža – tai apskaičiuota linijos varžos reikšmė ir įvesta į relinę apsaugą). Jei apskaičiuota gedimo varža yra mažesnė nei nustatyta, tai relė supranta, kad gedimas yra jos saugomoje zonoje ir suformuoja signalą skirtą jungtuvo atjungimui.

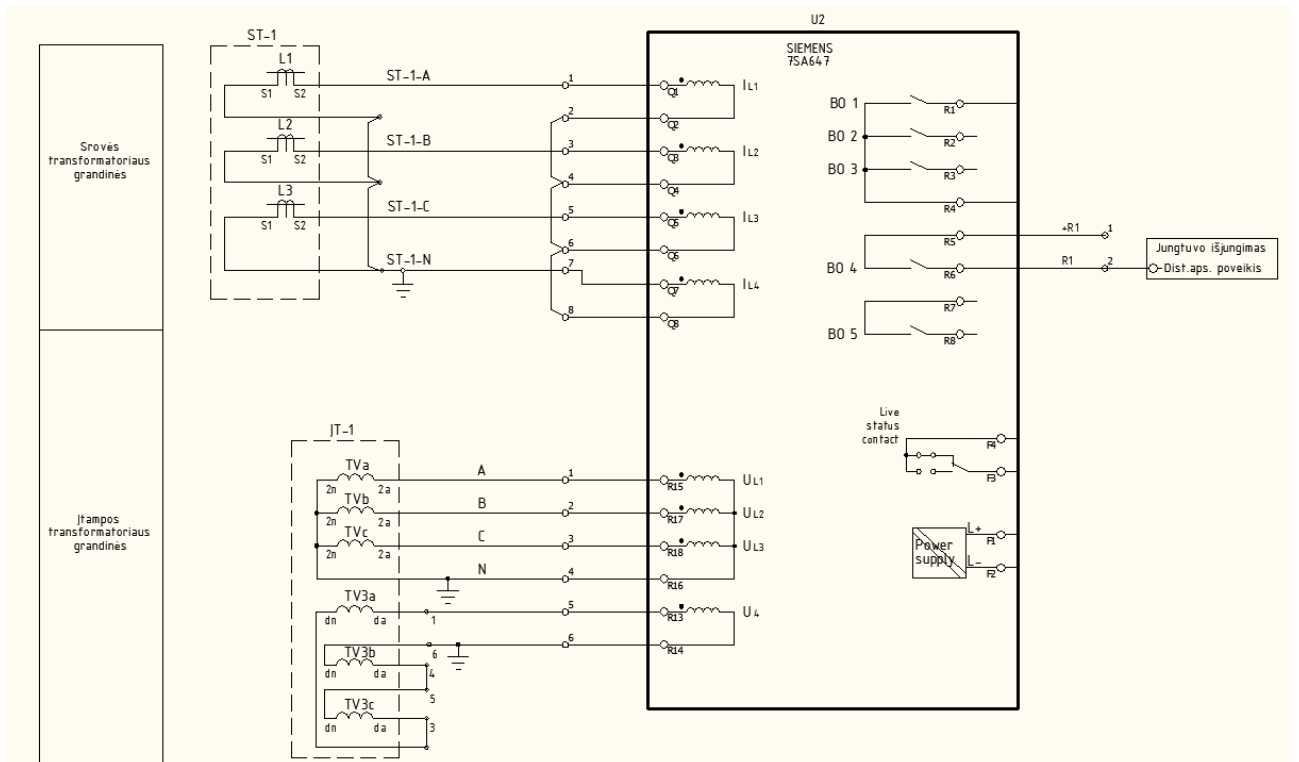
Linijos varža ( $Z_L$ ) nustatoma pagal šynų įtampos ( $U$ ) ir jos srovės ( $I_L$ ) santykį (5.3 paveikslas):

$$Z_L = \frac{U}{I_L} = R_L + jX_L \quad (2)$$



5.3 pav. Apsaugos schema

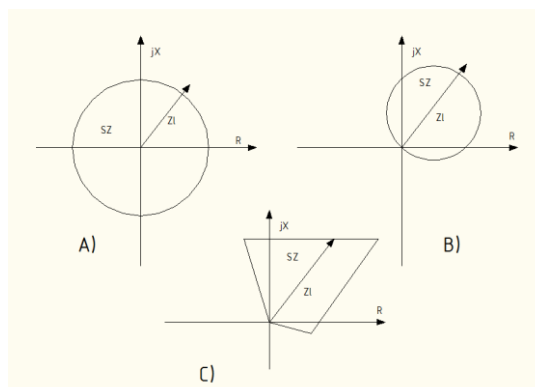
5.3 paveiksle pateikta perdavimo linijos distancinės apsaugos sistema. Varžos matavimo įvestys yra trijų fazių srovės ir įtampos vektorių reikšmės, paimtos atitinkamai iš srovės transformatoriaus (ST) ir įtampos transformatoriaus (IT). Trijų fazių srovė ir įtampos bangos turi būti pirmiausia filtruojamos, kad būtų pašalintas harmoninis turinys, atsiradęs dėl gedimo lanko kibirkščiojimo. Tada filtruotos bangos yra atrenkamos pasirinktame atrinkimo dažnyje prieš jas skaitmeniniu būdu naudojant atstumo relės viduje. Relė palygina nustatymo varžą su išmatuota varža, kad būtų galima nustatyti, ar gedimas yra apsaugotoje zonoje ar už jos ribų.



5.4 pav. Distancinės apsaugos struktūrinė schema

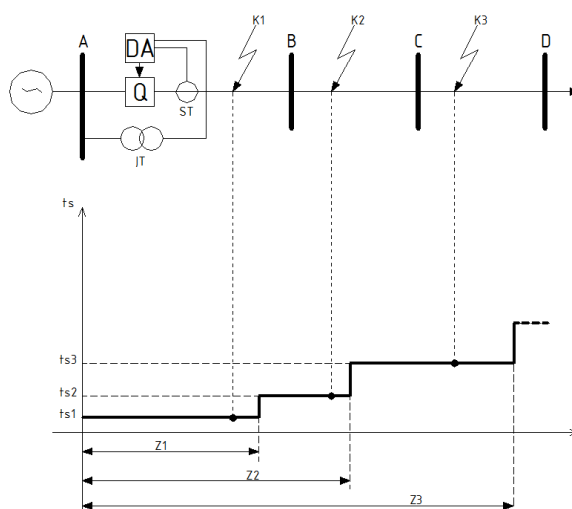
Distancinės apsaugos varžos charakteristikos vaizduojamas kompleksinėje koordinačių sistemoje (5.5 paveikslas). Relės (U2) kontaktas (B04) užsidaro ir išjungia komutuojamą įrenginį, jei varžos reikšmė, suskaičiuota skaitmeninės relės ( $Z_L = \frac{U}{I_L}$ ), patenka į charakteristikos suveikimo zoną (SZ).

Varžos charakteristikų pasirinkimą lemia tinklo schemas, linijų parametrai, sistemos režimai. Charakteristika (A pav. 5.5) yra nekryptinė ir gali būti naudojama radialiniuose tinkluose. Charakteristikos, kurios nepereina į trečią kvadrantą (pav. 5.5 b,c) yra kryptinės ir naudojamos dvipusio maitinimo tinkluose.



5.5 pav. Distancinės apsaugos varžos charakteristikos. A) - Apskritimas; B) paslinktas apskritimas; C) daugiakampė.

Distancinės apsaugos (toliau – DA) paprastai turi ne vieną, o keletą suveikimo zonų, kurios suveikia skirtingu laiku [5]. 5.6 paveiksle parodyta DA veikimo charakteristika, atsižvelgiant į gedimo vietą. Pirmoji zona ( $Z_1=0,85*Z_{AB}$ ) saugo 80-90 % linijos AB dalį. Įvykus TJ pirmoje zonoje DA jungtuvą Q1 atjungs su minimaliu uždelsimu ( $t_{s1}$  – artimas nuliui). Antroji zona ( $Z_2=0,8*(Z_{AB}+0,85*Z_{BC})$ ) saugo likusią linijos AB dalį ir apie 40 % linijos BC. Įvykus gedimui K2 su  $t_{s2}$  uždelsimu apsauga išjungs Q1 jungtuvą. Trečioji zona ( $Z_3=0,8*(Z_{AB}+0,85*(Z_{BC}+0,85*Z_{CD}))$ ) saugo likusią linijos atkarpą BC ir dalį linijos CD. Įvykus gedimui taške K3 DA su ( $t_{s3} - 0,4 - 1s$ ) uždelsimu išjungs jungtuvą Q1.



**5.6 pav.** Distancinės apsaugos veikimo charakteristika

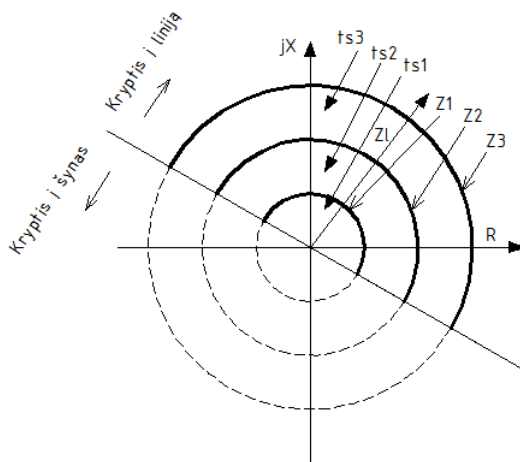
Pirmoji zona saugo 80-90 % linijos atkarpą ir užtikrina greitą valdomo objekto išjungimą esant įvairiems gedimams. Linijos likusią dalį apimama antroji zona, kuri, siekiant selektyvumo, privalo būti uždelsta, palyginti su gretimoms linijoms apsauga. Elektromechaninės apsaugos atveju šis uždelsimas yra 400-500 ms ir 250-300 ms, kai naudojama skaitmeninė apsauga [6].

Priešingai nei diferencinė apsauga, kuri demonstruoja absoliutų selektyvumą (jos apsaugos zoną tiksliai apibrėžia abiejuose linijos galuose esančių srovės transformatorių vieta), o distancinė apsauga (savo paprasčiausioje formoje) nedemonstruoja absoliutaus selektyvumo [7]. Todėl laiko delsa, su gretimoms linijoms apsauga, turi užtikrinti selektyvų komutuojamo objekto išjungimą. Tačiau distancinė apsauga suteikia rezervinę apsaugą gretimoms linijoms. Antroji, trečioji apsaugos zona yra naudojama šiam tikslui.

Žemiau esantis paveikslas rodo kryptinės apsaugos varžos veikimo charakteristiką. Kadangi kryptinė apsauga veiks tik (teigiamoje dalyje – kryptis į liniją), tai neigiama dalis



vaizduojama brūkšninė linija. Jei tinkle galios srautas bus priešingas (nukreiptas į šynas), tai apsauga nesuveiks esant gedimui.



**5.7 pav.** Kryptinė apsaugos varžos charakteristika

Distancinė apsauga dar vadinama antrinių matavimų relė, kadangi apsauga matuoja srovės ir įtampas, kurių reikšmes gaunamos iš srovės ir įtampos transformatorių antriniais dydžiais [8]. Reikia mokėti tiesioginio matavimo reikšmes keisti į antrinius dydžius.

$$Z_{sec} = \frac{I_{prim}/I_{sec}}{U_{prim}/U_{sec}} \times Z_{prim} \quad (3)$$

Pavyzdys:

Sistemos nominali įtampa –  $U_{prim} = 110 \text{ kV}$ ;  
 Srovės transformatoriaus koeficientas -  $I_{prim}/I_{sec} = 600/1 \text{ A}$ ;  
 Įtampos transformacijos koeficientas –  $U_{prim}/U_{sec} = 110\text{kV} / 100 \text{ V}$ ;  
 $Z_{sec} = \frac{600/1}{110/0.1} = 0.545 \times Z_{prim}$

Distancinės apsaugos veikimo zonų skaičiavimo pavyzdys:

110 kV oro linijos 150 mm<sup>2</sup> elektriniai parametrai:

$s$  (ilgis) = 35 km  
 $R_1/s = 0.19 \text{ } \Omega/\text{km}$   
 $X_1/s = 0.42 \text{ } \Omega/\text{km}$   
 $R_0/s = 0.53 \text{ } \Omega/\text{km}$   
 $X_0/s = 1.19 \text{ } \Omega/\text{km}$

Srovės transformatoriaus transformacijos koeficientas 600 A/5 A

Įtampos transformatoriaus transformacijos koeficientas 110 kV / 0.1 kV

Linijos varžų skaičiavimas:

$$R_L = 0,19 \Omega / \text{km} \cdot 35 \text{ km} = 6,65 \Omega.$$

$$X_L = 0,42 \Omega / \text{km} \cdot 35 \text{ km} = 14,70 \Omega.$$

Pirmoji apsaugos suveikimo zona saugo 85 % linijos AB dalį, todėl jos varža skaičiuojama:

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} = \sqrt{6,65^2 + 14,70^2} = 16,13 \Omega.$$

$$X_{1\text{prim}} = 0,85 \cdot Z_L = 0,85 \cdot 16,13 = 12,49 \Omega.$$

Antriniais dydžiais:

$$X_{1\text{sec}} = \frac{600/5}{110/0.1} = 0.109 \times 12,49 = 1,36 \Omega$$

Antrosios apsaugos zonas varža skaičiuojama ( $Z=0,8 \cdot (Z_{AB} + 0,85 \cdot Z_{BC})$ ). Priimama, kad linijos BC elektriniai parametrai toki kaip ir linijos AB, tuomet:

$$X_{2\text{prim}} = 0,8 \cdot (16,13 + 0,85 \cdot 16,13) = 23,87 \Omega.$$

Antriniais dydžiais:

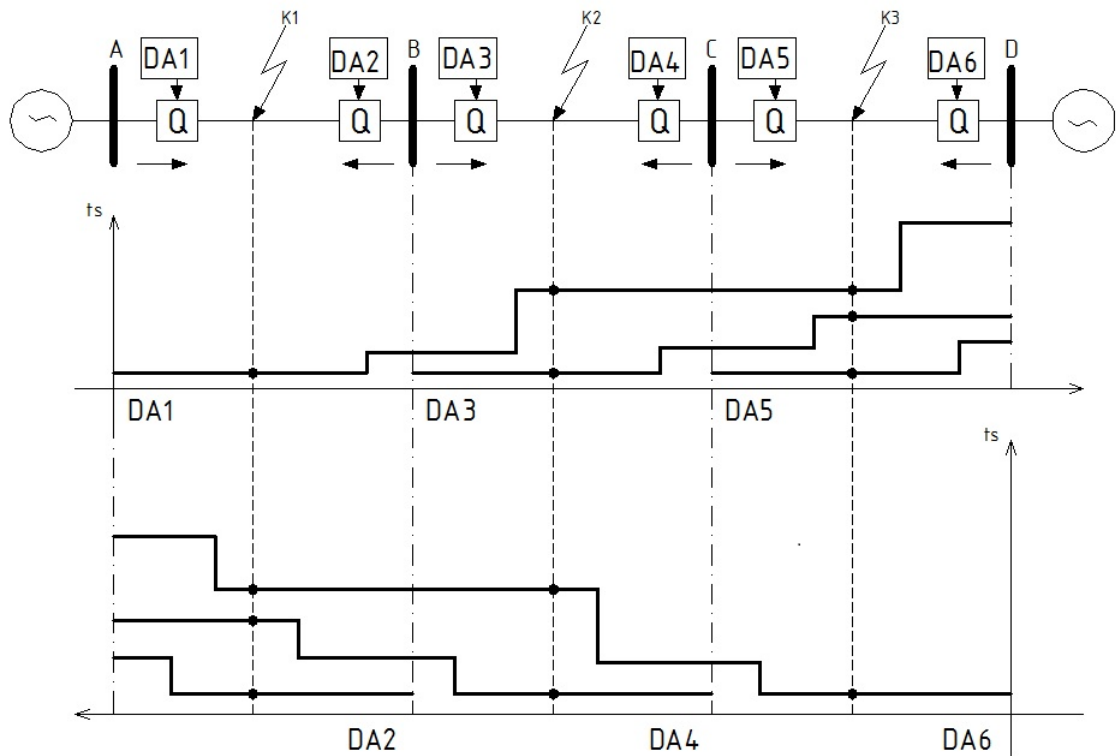
$$X_{2\text{sec}} = \frac{600/5}{110/0.1} = 0.109 \times 23,87 = 2,602 \Omega$$

Trečiosios apsaugos zonas varža skaičiuojama ( $Z_3=0,8 \cdot (Z_{AB} + 0,85 \cdot (Z_{BC} + 0,85 \cdot Z_{CD}))$ ). Priimama, kad linijos CD elektriniai parametrai toki kaip ir linijos AB, tuomet:

$$X_{3\text{prim}} = 0,8 \cdot (16,13 + 0,85 \cdot (16,13 + 0,85 \cdot 16,13)) = 33,19 \Omega.$$

Antriniais dydžiais:

$$X_{3\text{sec}} = \frac{600/5}{110/0.1} = 0.109 \times 33,19 = 3,618 \Omega.$$



**5.8 pav.** Kryptinės apsaugos selektyvumo schema

Trijų zonų kryptinės distancinės apsaugos charakteristikų suderinimas dvipusio maitinimo tinkle parodytas 5.8 paveiksle.

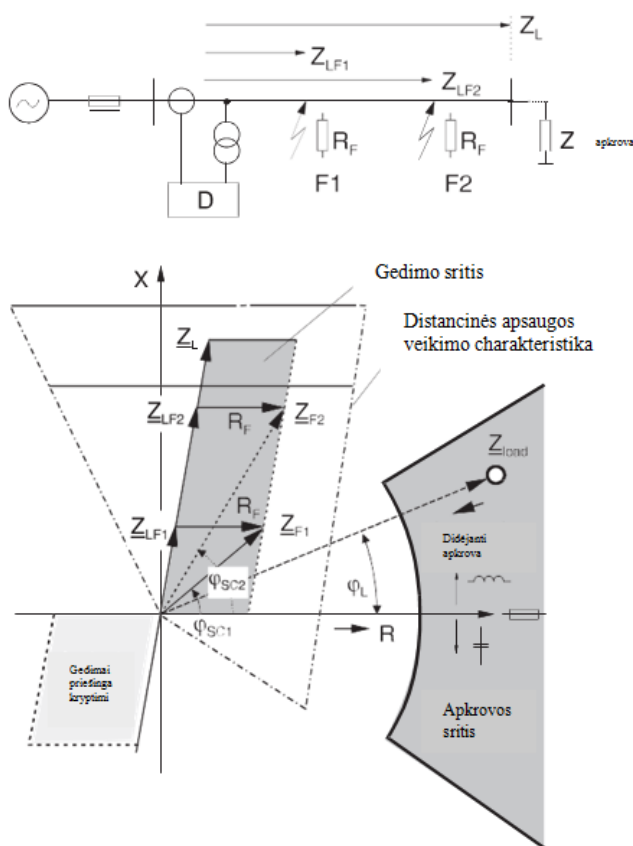
Visos apsaugos yra kryptinės, jų suveikimo laikai didėja tolstant nuo apsaugos pastatymo vietos. Įvykus TJ bet kurioje linijoje, apsauga su minimaliu uždelsimu išsiųs signalą jungtuvo išjungimui. Šios apsaugos rezervuoja gretimų linijų tos pačios krypties apsaugas.

#### 5.4. Varžos schemos

Inžinieriams apsaugos varžos schema yra svarbus įrankis, skirtas įvertinti distancinės apsaugos veikimą. Apsaugos charakteristikoje vaizduojama trumpojo jungimo, saugomos linijos bei apkrovos varžos R-X plokštumoje (5.9 paveikslas). Diagramoje šių trijų varžos komponentų santykis aiškiai apibūdina relės veikimą sistemoje.

Normalaus sistemos veikimo metu išmatuota varža atitinka apkrovos varžą. Jos dydis yra atvirkščiai proporcingas perduotos apkrovos dydžiui ( $Z_{load} = U_{linija}^2 / P_{apkrova}$ ). Kampas tarp srovės ir įtampos šioje sąlygoje atitinka apkrovos kampą  $\varphi_L$ . Tai priklauso nuo santykio tarp realios ir reaktyvios galios ( $\varphi_L = atan(P_{reactive} / P_{real})$ ) [5].

Po užfiksuoto gedimo išmatuota varžos reikšmė pasiekia trumpojo jungimo varžą, kuri paprastai būna mažesnė nei apkrovos varža. Jos vertė atitinka linijos varžą tarp relės ir gedimo vietos (arti esantis gedimas  $Z_{LF1}$  arba nutolęs gedimas  $Z_{LF2}$ ). Kai gedimo vietoje kyla elektros lankas, tai prie linijos varžos yra pridedamas papildomas varžinis komponentas ( $R_F$ ). Kampas, kuris yra išmatuojamas tarp trumpojo jungimo srovės ir įtampos yra trumpojo jungimo kampas  $\varphi_{SC}$ . Charakteristikoje apsaugos veikimo sritis yra apribota apkrovos zona. Įvertinus apkrovos dydį, tampa aišku ar varžos pasiekimas  $R$  kryptimi (taip pat vadinama elektros lanko atsparumo paklaida) yra tinkamas numatomo gedimo atsparumui. Galiausiai kryptinė apsaugos charakteristika yra apibrėžta dviem varžos sritims, pagal kurias relė nusprendžia trumpojo jungimo kryptį (ar gedimas į linijos pusę ar į priešingą (šynas)).



**5.9 pav.** Daugiakampė apsaugos charakteristika

Charakteristikoje prisideda papildomos varžos nustatymas  $R_F$ , kuris praplečia linijos varžos sritį, esant gedimams, kai avarijos vietoje užsidega elektros lankas. Šis nustatymas turi atsižvelgti į šių gedimų varžas, bet turi būti neperdidelis, saugantis nuo klaidingo apsaugos veikimo.

$$R_F = \frac{2500 \cdot L_{arc}}{I_{arc}} \quad (4)$$

Čia:  $L_{arc}$  – lanko ilgis, m;

$I_{arc}$  – trumpojo jungimo srovė, A.

Turime 110kV oro liniją, kuri kabo ant izoliatorių girliandos (jos ilgis 127 cm). Minimali trumpojo jungimo srovė 4kA.

$$L_{arc} = 3 \cdot 127 = 3,8 \text{ m.}$$

$$R_F = \frac{2500 \cdot 3,8}{4000} = 2,38 \Omega.$$

Apkrovos zonos parametrų skaičiavimo pavyzdys:

Turime saugomą tinklą, kurį sudaro: 110 kV oro linija, kurios skersmuo 150 mm<sup>2</sup>;

Perduodama galia –  $P_{max} = 100 \text{ MVA}$ ;

Galios koeficientas –  $\cos\varphi = 0,9$ ;

Apkrovos srovė –  $I_a = 525 \text{ A}$ ;

Minimali sistemos įtampa -  $U_{min} = 0,9 U_N$ ;

Srovės transformatorius – 600/5 A;

Įtampos transformatorius – 110kV/0,1 kV.

Apkrovos varžos skaičiavimas:

$$R_l = \frac{U_{min}}{I_a \cdot \sqrt{3}} = \frac{0,9 \cdot 110 \text{ kV}}{525 \text{ A} \cdot \sqrt{3}} = 108,9 \Omega.$$

Apsaugos charakteristikos skaitmeninėse relėse dažnu atveju įvertinamos antriniais dydžiais. Todėl svarbu mokėti reikšmes perskaičiuoti antriniais dydžiais.

$$R_{lsec} = \frac{ST}{IT} \cdot R_l = \frac{600/5A}{110kV/0,1 kV} \cdot 108,9 = 11,9 \Omega.$$

Apkrovos kampas  $\varphi_a$ :

$$\varphi_a = \arccos(0,9) = 25,8^\circ.$$

### 5.5. Kryptinė pilnos varžos distancinės apsaugos charakteristika

Tradicinės relės varžos charakteristikos buvo geometrinės figūros, pagamintos iš tiesių linijų ir apskritimų ar jų sektorių. Šis apribojimas buvo dėl analoginių matavimo metodų apribojimų [5].

Tradicinės relės lygina trumpojo jungimo varžą su saugomos linijos varža ir nusprendžia ar gedimas yra saugomoje zonoje ar už zonos ribų. Kryptinė pilnos varžos relės charakteristika

buvo naudojama elektromechaninėse ir statinėse relėse (5.10 paveikslas). Ši charakteristika naudojama ir skaitmeninėse relėse, kai saugoma tinklą sudaro trumpos linijos.

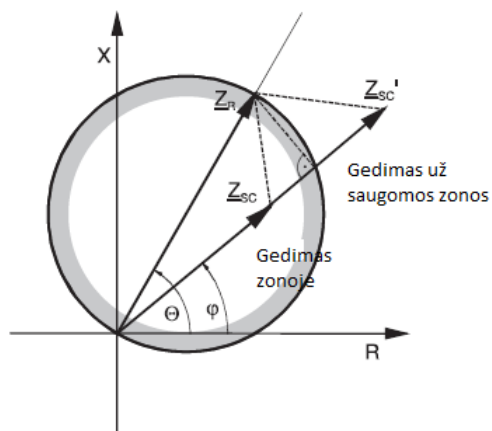
Relės poveikio priklausomybė nuo kampo  $\varphi$  nusakoma formule :

$$Z_{SC} = Z_R \cdot (\cos(\theta - \varphi)) \quad (5)$$

Čia:  $Z_R$  – linijos varža;

$\theta$  – maksimalaus jautrumo kampas.

Relės veikimo zona aprašoma -  $\frac{U_{SC}}{I_{SC}} = Z_{SC} < Z_R \cdot \cos(\varphi - \theta)$



**5.10 pav.** Kryptinės apsaugos charakteristika

Apsauga saugos liniją esant galios srauto kryptiai į liniją.

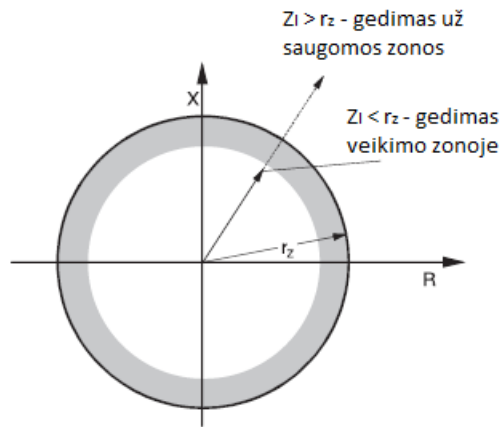
### 5.6. Nekryptinė pilnos varžos distancinės apsaugos charakteristika

Elektromechaninėse relėse naudojama nekryptinė pilnosios varžos charakteristika. Šios relės charakteristika turi apskritimo formą su centru koordinatų pradžioje. Jos veikimo charakteristiką apibrėžia  $Z_l$ , kuris lygus apskritimo diametru  $r_z$ . Relė veikia kai  $Z_l \leq r_z$  prie bet kokių kampo  $\varphi$  reikšmių tarp vektorių  $Z_l$  ir ašies R.

Saugomos linijos varžos įvertinimas -  $R^2 + X^2 \leq Z_l^2$ ;

Veikimo zonos spindulys –  $r_z$ ;

Veikimo zona  $Z_l \leq r_z$ .



**5.11 pav.** Nekryptinės apsaugos charakteristika

### 5.7. Trumpųjų jungimų varžų matavimo būdai

Distancinės apsaugos dažniausiai naudojamos įžemintos neutralės tinkluose (110, 330 kV), todėl jos turi veikti trifazių, dvifazių ir vienfazių trumpųjų jungimų metu. Gedimas elektros sistemoje gali būti klasifikuojamas, kaip simetrinis arba nesimetrinis gedimas. Trijų fazių gedimas gali būti tik simetrinis gedimas, kai visos fazė kontaktuoja tarpusavyje. Gedimai dvifaziai ( $K^2$ ), dvifaziai su žeme ( $K^{1,1}$ ), vienfaziai ( $K^1$ ) yra klasifikuojami, kaip nesimetriniai trumpieji jungimai. Iš esmės, kai gedimas įvyksta perdavimo linijoje, relė matuoja varžą tarp gedimo fazių esant  $K^2$  gedimui arba tarp gedimo fazių ir žemės. 3 lentelėje pateikti skirtingi algoritmai, naudojami matuojant gedimo varžą įvairiems gedimų tipams [3]. Tarpfazių TJ ( $K^3$ ,  $K^2$ ) metu varža nustatoma pagal linijinę įtampą ir pažeistų fazių srovių skirtumą. TJ su žeme ( $K^1$ ,  $K^{1,1}$ ) metu varža nustatoma pagal fazinę įtampą ir kompensuotą fazinę srovę ( $I_F + kI_0$ ).

3 lentelė. Gedimo varžų matavimo būdai

Matuojami dydžiai	$I_A, I_B, I_C; U_A, U_B, U_C; U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$					
Gedimų tipas	$K^3, K^2$			$K^1, K^{1,1}$		
Matavimo algoritmas	$U_{AB}/(I_A - I_B)$	$U_{BC}/(I_B - I_C)$	$U_{CA}/(I_C - I_A)$	$U_A/(I_A + 3kI_0)$	$U_B/(I_B + 3kI_0)$	$U_C/(I_C + 3kI_0)$

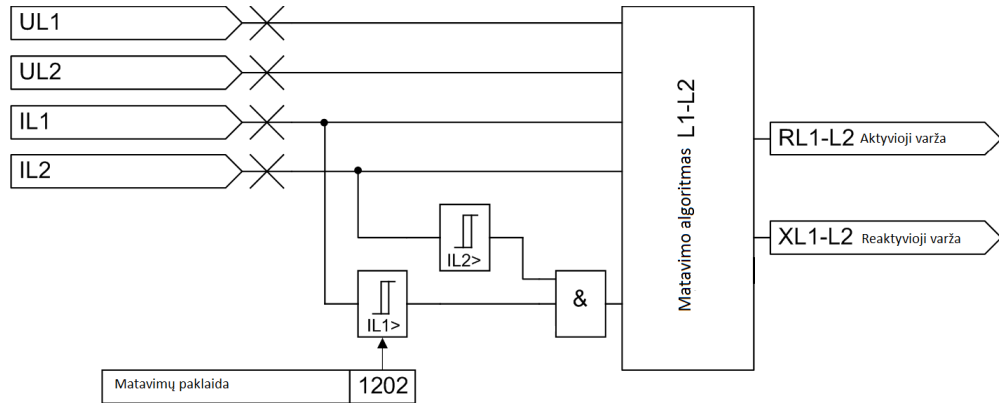
Kur:

k – kompensavimo koeficientas

$$k = (Z_0 - Z_1)/Z_1 \quad (6)$$

$Z_0$  – nulinės sekos varža;  
 $Z_1$  – tiesioginės sekos varža.

Distancinė relė pirma nustatys gedimo tipą. Tam tikslui bus naudojama vidinė fazės pasirinkimo funkcija (5.12 pav.). O tada bus nustatoma, kuris varžos matavimo algoritmas turi būti naudojamas.



**5.12 pav.** Distancinės apsaugos loginė schema, esant gedimui  $K^2$

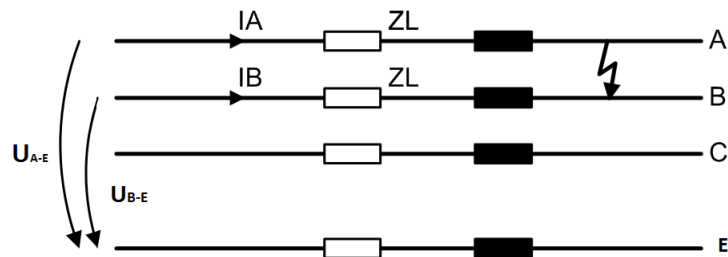
Norint iširti avarijos (A-B) varžos dydį naudojama formulė:

$$\underline{I}_A \cdot \underline{Z}_L - \underline{I}_B \cdot \underline{Z}_L = \underline{U}_{A-E} - \underline{U}_{B-E} \quad (7)$$

Čia -  $\underline{U}$ ,  $\underline{I}$  – matuojamos reikšmės;

$\underline{Z}_L$  – saugomos linijos kompleksinė varža.

Linijos varža skaičiuojama: 
$$\underline{Z}_L = \frac{\underline{U}_{A-E} - \underline{U}_{B-E}}{\underline{I}_A - \underline{I}_B} \quad (8)$$



**5.13 pav.** Trumpasis jungimas  $K^2$

Kai įvyksta gedimas fazė-žemė, gedimo vietoje įtampa pasiekia nulinę reikšmę. Įtampos reikšmė gedimo vietoje susideda iš tiesioginės, atvirkštinės ir nulinės sekų dedamųjų [8].

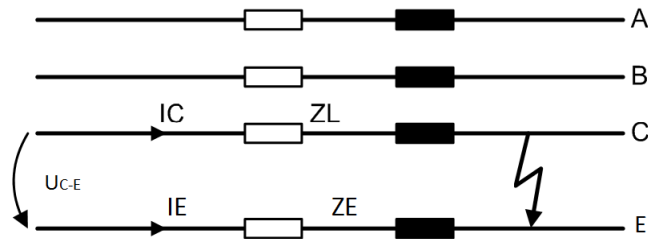


$$\underline{V}_{tj} = \underline{I}_1 Z_{L1} + \underline{I}_2 Z_{L1} + \underline{I}_0 Z_{L0}; \quad (9)$$

$$\underline{I}_{tj} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 + \underline{I}_0; \quad (10)$$

Gedimo varža skaičiuojama taip:

$$Z = \left(1 + \frac{(k-1)}{3}\right) \cdot Z_{L1}. \quad (11)$$



**5.14 pav.** Trumpasis jungimas  $K^1$

## 5.8. Distancinių apsaugų funkcijos

Distancinės apsaugos yra pakankamai tobulos ir gali būti naudojamos linijų apsaugai bet kokios konfigūracijos tinkluose, tenkindamos selektyvaus veikimo ir jautrumo reikalavimus. Privalumu galima laikyti geras gretimų linijų apsaugų rezervavimo galimybes. Jos dažniausiai naudojamos perdavimo tinklo linijoms: 110 kV linijoms jos gali būti pagrindinės apsaugos, 330 kV linijose jos dažniausiai būna rezervinės apsaugos [5].

Būtina žinoti papildomas distancinės apsaugos veikimo savybes:

- Nutrūkus ar kitaip pažeidus srovines grandines (relė negali atlikti matavimų) apsauga blokuoja veikimą.
- Nutrūkus įtampos grandinėms apsauga gali klaidingai suveikti, tokiu atveju reikia blokuoti apsaugos veikimą.
- Esant sistemoje įtampų švytavimams ar asinchroninio darbo režimui apsauga gali klaidingai suveikti, todėl reikia apsaugą blokuoti esant tokiems režimams.

Įtampų švytavimai tinkle kyla dėl įvairių priežasčių: variklių ir kitų imtuvų įjungimų ar išjungimų, trumpųjų jungimų, pakartotinių įjungimų į trumpai sujungtą grandinę ir pan. Distancinė apsauga turi funkciją, kuri atpažįsta galios švytavimus tinkle ir blokuoja apsaugos veikimą švytavimų metu.

## 5.9. Galios švytavimai elektros sistemoje

Lygtis, kuria yra nustatomas generatoriaus funkcionavimas esant tokiems tinklo trikdžiams, kaip gedimas, yra vadinama *galios svyravimo lygtimi* [1]. Ši lygtis yra Niutono antrasis dėsnis, išreikštas elektros sistemos dydžiais. Bazinė sistema - yra generatorius ir jo žadinimas, išreikštas antros eilės diferencialine lygtimi.

$$J \frac{d^2\theta}{dt} = T_a \text{ (Nm)} \quad (12)$$

Čia,  $J$  – inercijos momentas ( $\text{kg/m}^2$ );

$\theta$  – fizinis veleno kampas (rad);

$t$  – laikas (s);

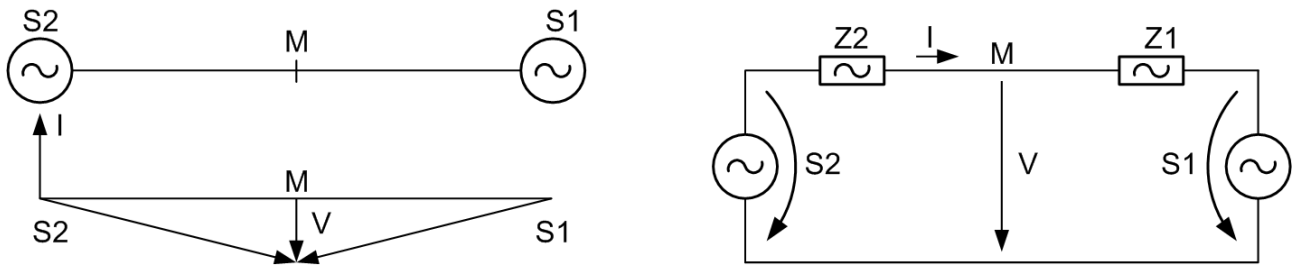
$T_a$  – sukimo momentas (Nm).

Pagrindinė jėga, dėl kurios generuojantis elementas reaguoja į trikdį, yra greitas sukimo momento sumažėjimas, kuris yra maždaug lygus skirtumui tarp beveik pastovios mechaninės jėgos ir greitai kintančios elektros galios [1].

Galios švytavimai tinkle yra trijų fazių simetriniai reiškiniai. Įžemėjimo tinkle nebuvimas ir išmatuotos linijos varžos simetrija yra išankstinė sąlyga švytavimo aptikimui. Galios švytavimų aptikimas remiasi pastoviai matuojamomis varžos vektoriaus reikšmėmis. Jie išskiriami pagal šias švytavimų charakteristikas:

- Stabilūs svyravimai pasižymi lėtais virpesiais, kai kampai tarp dviejų įtampos šaltinių varijuoja, paprastai tai būna  $<1\text{Hz}$ ,  $0,5\text{-}0,8\text{ Hz}$  (daugiau nei 1 sekundės virpėjimo laikotarpis).
- Dideli trikdžiai paprastai pasireiškia esant minimaliems svyravimams, tiksliau sakant tai būna monotoniškas kampo padidėjimas, kol įtampa nukrenta tam tikrame taške, o relė funkcionuoja.
- Daugelį galios švytavimų sukelia trumpieji jungimai, dideli apkrovos pasikeitimai, linijų perjungimai.

Švytavimas sukelia įtampos fazės poslinkį tarp šaltinių  $S_1$  ir  $S_2$  (5.15 pav.).



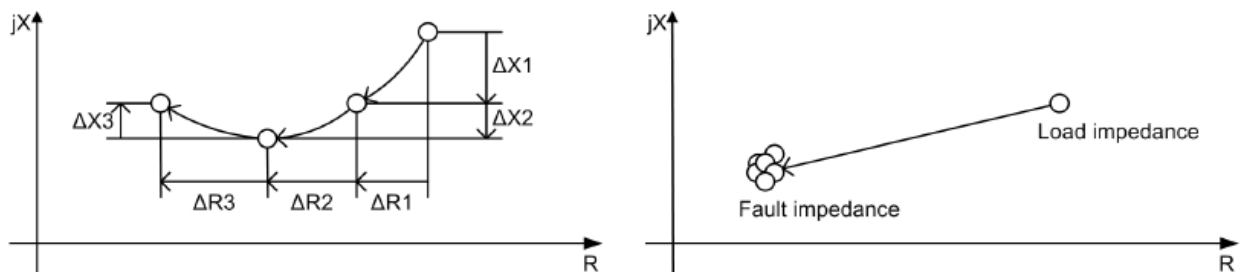
5.15 pav. Įtampos kitimas

$$\text{Srovės reikšmę taške M sąlygoja: } I = \frac{S_1 - S_2}{Z_1 + Z_2}.$$

Švytvimų metu kiekviename elektros tinklo taške vyksta periodinis srovės ir įtampos kitimas. Įtampa svyruoja nuo nominalios iki minimalios vertės ir yra skirtinga kiekviename tinklo taške. Taške „M“ įtampa sumažėja, o einant link šaltinių  $S_1$  ir  $S_2$  auga. Pagal srovės ir įtampos kitimą švytvimai panašūs į trumpuosius jungimus. Padidėjusi srovė šildo elektros įrangą, o sumažėjusi įtampa trikdo elektros imtuvų darbą [8].

### 5.10. Galios švytavimo atpažinimas apsaugose

Distancinės relės charakteristikoje varžos išraiška gali išeiti iš apkrovos srities ir patekti į apsaugos veikimo zoną. Esant stabiliam švytvimui yra ypač svarbu, kad apsauga nesuveiktų ir leistų elektros sistemai grįžti į stabilią būseną. Dėl šios priežasties daugumoje distancinės apsaugos schemų, kurios naudojamos perdavimo sistemose yra naudojama funkcija padedanti blokuoti apsaugos veikimą švytvimų metu. Skirtingos relės naudoja skirtingus principus švytvimų atpažinimui, tačiau jos visos remiasi varžų matavimais. Esant stabiliam galios švytvimui varžos trajektorija apsaugos charakteristikoje kinta tolydžiai, monotoniškai (apsauga blokuoja suveikimą). Esant gedimui varžos trajektorija charakteristikoje kinta labai greitai, kas iššaukia apsaugos suveikimą.

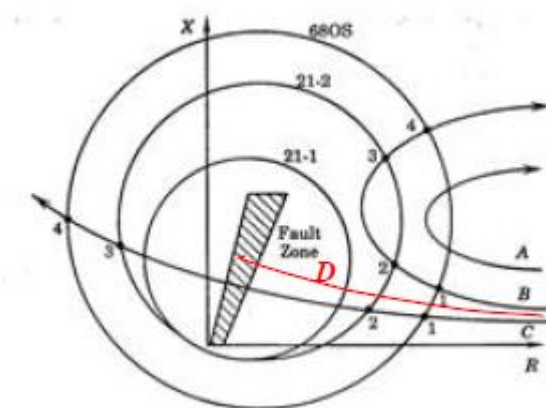


5.16 pav. Švytvimų trajektorija

Apsaugose naudojami skirtingi metodai siekiant apsaugoti nuo apsaugos veikimo blokavimo, kai tinkle kyla gedimas galios švytavimo metu. Tai yra ypač svarbu siekiant užtikrinti teisingą apsaugos veikimą.

Jei apkrovos varžos vektorius patenka ir išlieka distancinės apsaugos veikimo zonos ribose, sistema gali išsijungti. Išsijungimą esant galios svyravimui gali sukliudyti taip vadinama švytavimo blokavimo funkcija.

Tinkle esant įtampos svyravimui varžos vektorius parodo stabilų progresą, o ne greitą pokytį, kuris gali rodyti gedimą. Matuojant varžos pokyčio rodiklį ir palyginant jį su ribine reikšme galima atskirti trumpus jungimus nuo elektros tinklo galios švytavimų.



**5.17 pav.** Švytavimų atpažinimas

A: Varžos vektorius Z persikelia į OS zoną (apsaugos veikimo zoną) ir iš lėto išeina;

B: Vektorius Z persikelia apsaugos veikimo zoną ir iš lėto išeina

C: Vektorius Z lėtai juda, tinklas pereina į asinchroninį režimą;

D: Gedimas - vektorius Z juda greitai į suveikimo zoną, apsauga atpažįsta gedimą (suveikia).

Kai varžos vektorius „Z“ tinkle esant galios svyravimui, įeina į apsaugos veikimo zoną, apsauga atlieka varžos matavimus patikrindama švytavimo aktyviosios varžos „R“ dedamąją. Jei „R“ komponentas vis dar yra toks pat, kaip ir įeigos taške, elektros srovės svyravimas stabilizuojasi, apsauga nesuveikia [8]. Galios švytavimų blokavimas gali būti taikomas individualiai kiekvienai relės zonai arba visose zonose, priklausomai nuo elektros tinklo režimų ar naudojamos konkrečios relės.

Aukščiau aprašytas galios švytavimo procesas paprastai yra įvardijamas varžos kreive, iliustruojant, kaip relė arba skaitmeninis gedimo įrašymo prietaisas matuoja elektros galios svyravimus, vektorių varžos plokštumoje.

## 6. TIRIAMOJI DALIS

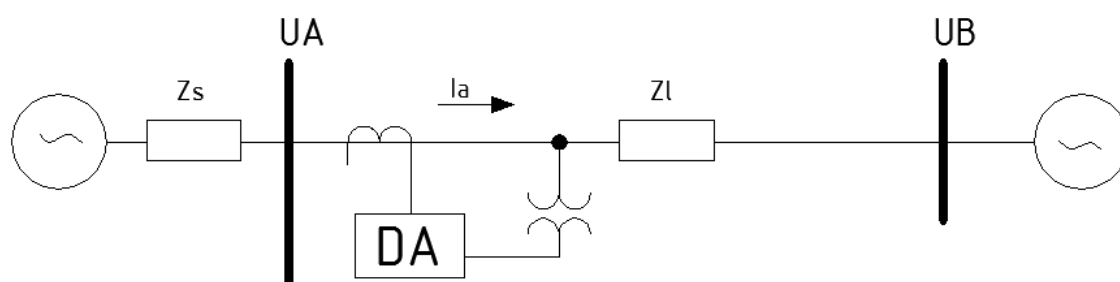
### 6.1. Pereinamųjų procesų įtaka distancinei apsaugai

Relinė apsauga ir automatika yra viena iš pagrindinių elektros sistemų komponentų. Šie prietaisai gali stipriai įtakoti elektros sistemos stabilumą ir patikimumą. Viena iš apsaugos relių naudojamų elektros sistemoje yra distancinė apsauga, kuri pagrinde naudojama elektros linijoms saugoti. Šių apsaugų veikimo charakteristika nepriklauso nuo elektros energijos tiekimo sistemos darbo, o apsaugos poveikio trukmė priklauso tik nuo atstumo tarp relinės apsaugos įrengimo vietos ir trumpojo jungimo vietos. Tai suteikia privalumų, lyginant su kitų tipų apsaugomis, nes naudojant šią apsaugą išpildomi anksčiau minėti relinių apsaugų reikalavimai. Distancinė apsauga, atsižvelgiant į tinklo schemą, parametrus, gali būti naudojama kaip pagrindinė arba atsarginė apsauga. Šiandien plačiai naudojamos skaitmeninės apsaugos. Jos pakeičia elektromechanines ir statines apsaugas. Suprasti distancinės relės funkcionavimą yra pakankamai sudėtinga lyginant su kitomis apsaugomis, nes ryšium su jomis egzistuoja sudėtingos teorijos bei filosofijos. Pasitelkus grafinę vartotojo sąsają galima sumažinti šią problemą ir tokiu būdu pagerinti distancinių apsaugų supratimą.

Šiame darbe yra kuriamas skaitmeninės apsaugos veikimo modelis. Pasitelkus visas įgytas žinias, praktikos ir studijų metu, bandoma jas pritaikyti praktiniams tikslams. Pasitelkus Matlab programinę įrangą, kuriamas distancinės apsaugos modelis, siekiant išsiaiškinti skirtingų tinklo režimų poveikį apsaugai.

Matlab yra galinga analizės programinė įranga, kuri gali modeliuoti elektros sistemos komponentus, tam tikslui naudojant „SimPowerSystems“ instrumentinių priemonių komplektą, esantį „Simulink“ pakete. Šiame komplekte kintamosios arba nuolatinės įtampos programoms gali būti naudojami įvairūs elektros sistemos komponentai, tokie, kaip trijų fazių transformatorius, trijų fazių apkrova, paskirstytų parametrų linija, trijų fazių šaltinis, jungtuvai ir t.t. [9]. Visi šie komponentai yra paruošti naudojimui, kai vartotojams tereikia nutempti komponentus į modelio failą ir įvesti parametro reikšmes.

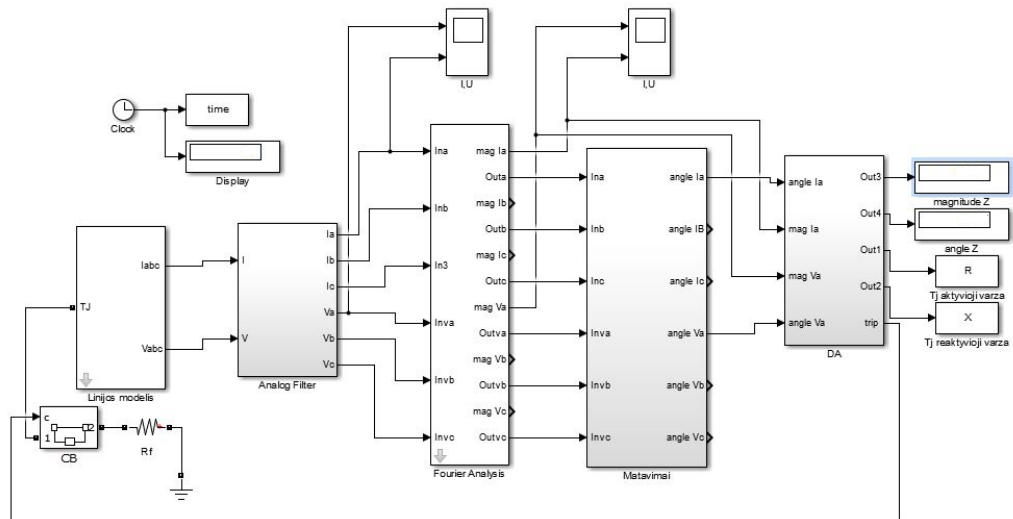
Darbe modeliuojama elektros sistema, kurią sudaro generuojantis šaltinis, perdavimo linijos, apkrova. Vienlinijinė modelio schema matoma 6.1 paveiksle. Perdavimo linija, apkrova modeliuojama naudojant paskirstytą parametrų liniją ir trijų fazių apkrovos bloką kompleksus. Distancinė apsauga reaguoja į varžos pasikeitimus linijoje. Tam, kad ji teisingai skaičiuotų gedimo varžą reikalingos srovės ir įtampos reikšmės, kurios gaunamos iš srovės ir įtampos transformatorių. Gauti matavimai iš pradžių turi būti filtruojami.



**6.1 pav.** Vienlinijinė modelio schema

Skaitmeninėse apsaugose filtravimą atlieka analoginis keitiklis, kuris vykdo momentinį įėjimo signalo keitimą į proporcingą skaitmeninį dydį. Vėliau mikroprocesorius pagal įėjimo signalus apskaičiuoja kontroliuojamų signalų integruojančius parametrus – jų amplitudes, esamas vertes, atlieka reikšmių filtravimą. Šios reikšmės lyginamos su užduotais dydžiais, jei santykis neatitinka išduodamas signalas suveikti.

Modelyje srovės ir įtampos reikšmės pirmiausiai filtruojamos panaudojant analoginio filtro bloką „Analog filter“. Tada likusios pagrindinės įtampos ir srovės reikšmės bus perleidžiamos per Furjė transformacijos bloką „Fourier analysis“. Furjė blokinis komplektas yra skirtas išgauti pagrindines trijų fazių srovės ir įtampos vektorių dydžius ir fazinius kampus [10]. Tada gedimo skaičiavimo blokas „DA“ gautus dydžius bei fazės kampus naudoja gedimo varžos skaičiavimui, prieš įvykstant gedimui ir iki tol, kol gedimas yra pašalinamas. Šio bloko išvestys yra varžos dydžiai, faziniai kampai (pav. 6.2).



6.2 pav. Apsaugos modelis

### Modelyje naudojama Furjė transformacija

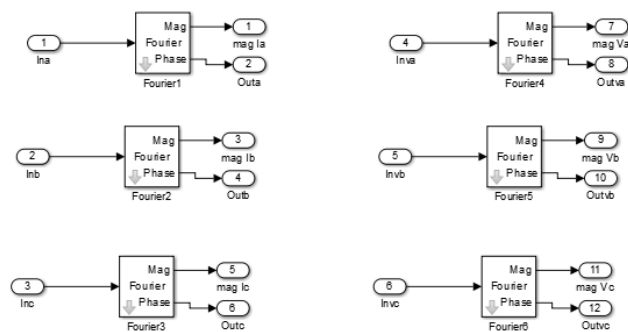
Dažnai informacija yra užšifruojama sinusoidinėse komponentėse, sudarančiose signalą. Šiuo atveju signalo pavidalas laiko srityje nėra informatyvus. Svarbesnė informacija slypi sinusoidinių komponentių amplitudėse, dažnyje, fazėse. Šios informacijos nagrinėjimui naudojama diskretinė Furjė transformacija (toliau – DFT) [6].

DFT yra viena iš svarbiausių skaitmeninio signalo apdorojimo metodų. Modelyje gauti kompleksiniai įtampos ir srovės dydžiai yra pakeičiami vektoriniais dydžiais, tinkančiais gedimo varžos skaičiavimams.

Diskretinė Furjė transformacija apibrėžiama taip:

$$X_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} e^{\frac{2\pi j}{N} kn} \cdot (12)$$

Čia:  $X$  – kompleksinis dydis;  
 $N$  – skaičiavimo skaičius (vienam ciklui);  
 $x_k$  – kompleksinio dydžio reikšmė.



6.3 pav. Furjė transformacijos matavimų blokai

## Modelio parametrų skaičiavimas

4 lentelėje parodyti modelyje naudojami pradinių parametrų duomenys. Visi parametrai apskaičiuoti remiantis bakalauro darbe sukaupta medžiaga.

### Apkrovos srovė:

Autotransformatoriaus galia:  $S=125$  MVA, skaičiuojamoji įtampa:  $U_v=110$  kV.

$$I_d = S_{AT} / U_v \times \sqrt{3}. \quad (13)$$

$$I_d = \frac{S_{AT}}{U_v \times \sqrt{3}} = \frac{125 \text{ MVA}}{110 \text{ kV} \times \sqrt{3}} = 656 \text{ A}.$$

### Linijos Igliauka kompleksinė varža įvertinus laidininko parametrus:

$$Z=19,23+71,5 \Omega.$$

### Aktyvioji galia:

$$\Delta P_L = 3 \times I^2 \times R_L = 3 \times 656^2 \times 8,5 = 10,97 \text{ MVA}.$$

### Reaktyvioji galia:

$$Q = P \times \operatorname{tg} \varphi = 10,97 \times 0,48 = 5,26 \text{ Mvar}.$$

4 lentelė. Elektros sistemos parametrai

Parametras	Reikšmė	Matavimo vienetas
Elektros sistema		
Elektros sistemos įtampa	110,000	V
Nominalus dažnis	50	Hz
Trumpojo jungimo galia	1994100000	VA
A fazės fazinis kampas	0	°
Apkrova		
Aktyvioji galia	10,97	MVA
Reaktyvioji galia	5,26	Mvar
Perdavimo linija		
Linijos ilgis	47	km
Aktyvioji varža	19,23	$\Omega$
Reaktyvioji varža	71,5	$\Omega$
Induktyvumas	0,000617	H/km
Talpa	1e-9	F/km

Elektros sistemoje perdavimo linijos yra ganėtinai ilgos, joms saugoti dažnu atveju neužtenka maksimalios srovės apsaugos (toliau – MSA), nes MSA patikimai veikia kai gedimas yra arti saugomo objekto. Todėl, kaip pagrindinė apsauga tokioms linijoms naudojama distancinė. Distancinės apsaugos turi galimybę praplėsti veikimo zoną, panaudojant kelias zonas



su skirtingais nustatymais. Tai užtikrina patikimą apsaugą nuo visų rūšių TJ, kylančių bet kurioje linijos dalyje. Kiekviena veikimo zona turi savo atskirą suveikimo laiką, kas leidžia užtikrinti selektyvų apsaugų veikimą.

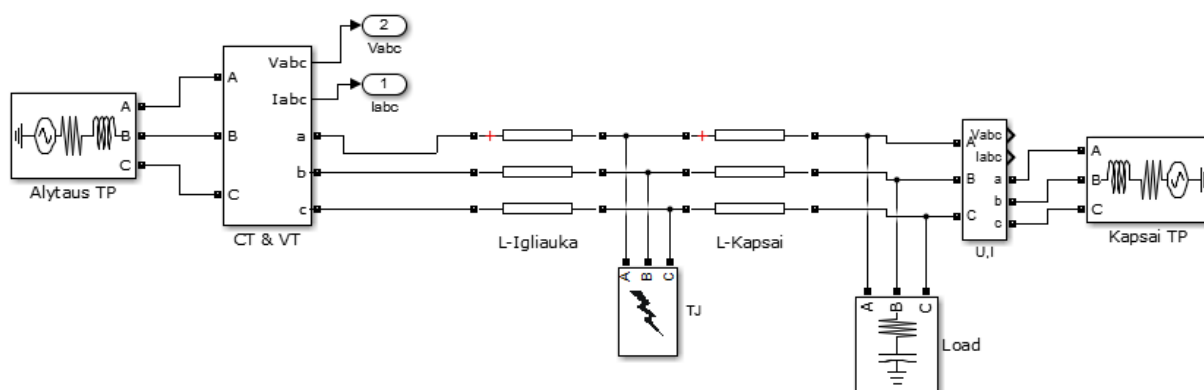
Kai gedimas įvyksta perdavimo linijoje, relė skaičiuoja varžą tarp gedimo vietos ir gnybtų (relės pastatymo vietoje). Gedimo varžos skaičiavimo logika priklauso nuo TJ pobūdžio (simetrinis ar nesimetrinis). Kai apskaičiuotas varžos dydis yra mažesnis nei nustatyta saugomos zonos reikšmė – apsauga suveikia, uždaro binarinį išėjimą, kuriuo siunčiamas signalas komutuojamam įrenginiui (jungtuvui) atsijungti. Tokiu principu veikia sukurtas modelis.

6.4 paveiksle matomas elektros sistemos modelis, kuriame vaizduojama saugoma linija. Linijos apsaugai naudojamos trys veikimo charakteristikos, iš kurių viena naudojama apsaugai už nugaros t.y. veikimas nukreiptas į šynas.

Daugelyje mikroprocesorinių relių naudojama daugiakampė charakteristika, kuri pasižymi dideliu funkcionalumu, lengva konfigūracija [11]. Be to ją galima lengvai pritaikyti prie skirtingų elektros tinklų parametru. Lyginant ją su kitomis charakteristikomis, galima nustatyti, kad daugiakampė charakteristika lengviau pritaikoma darbui elektros sistemoje ir teisingai veikia prie visų tipų trumpųjų jungimų. Atsižvelgiant į skaitmeninės technologijas modelyje taipogi naudojama daugiakampė charakteristika.

5 lentelė. Charakteristikos parametrai

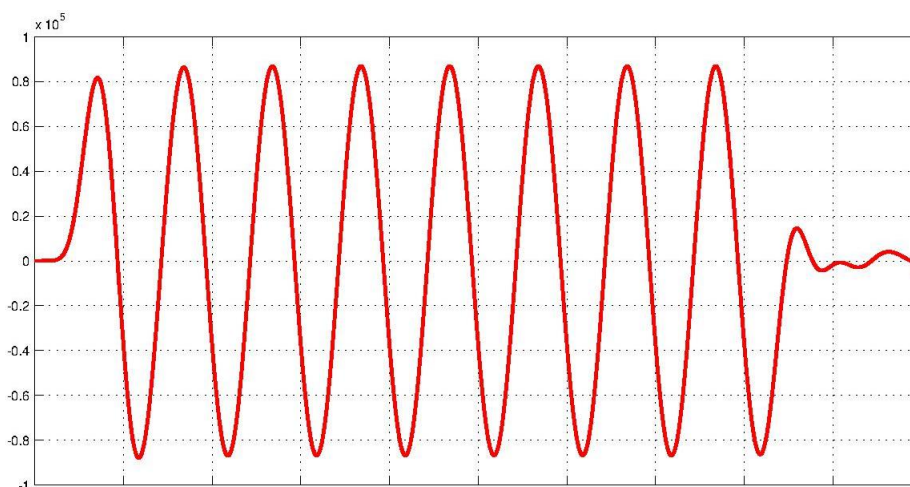
Pakopa	Kryptis	R, $\Omega$	X, $\Omega$	$\varphi^0$
ZI	į liniją	15,38	57,2	70
ZII	į liniją	23,76	75,23	70
ZIII	į šynas	13,89	36,84	70



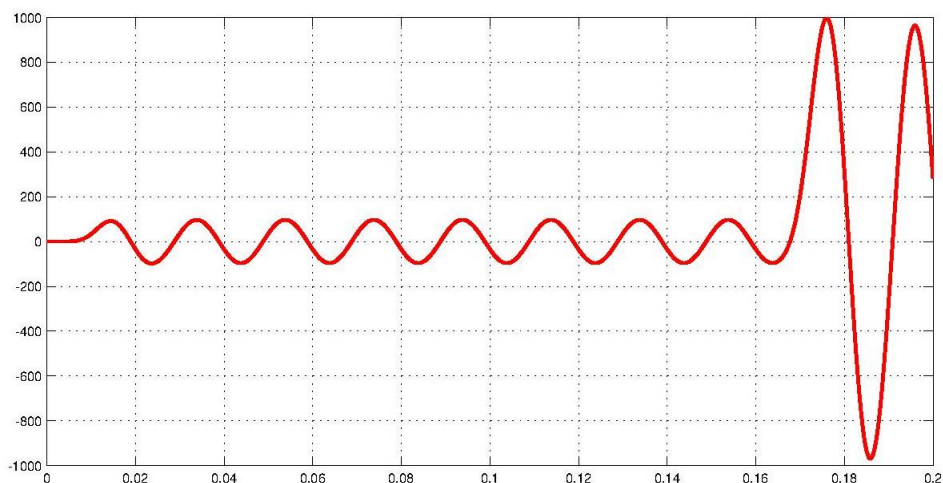
6.4 pav. Elektros sistemos modelis

Modeliu imituojamas vienfazis trumpasis jungimas 5 km atstume nuo apsaugos pastatymo vietos. Stebimos srovės ir įtampos oscilogramos. Analizuojant gautus grafikus, matoma, kad

gedimas kyla ties 0,17 s, nes šiuo metu įtamos reikšmė nukrenta beveik iki minimumo, o srovės reikšmė stipriai išauga. Tai matoma (6.5, 6.6 paveiksluose). Savo ruožtu apsauga atlieka matavimus ir su atitinkama delsa likviduoja gedimą.

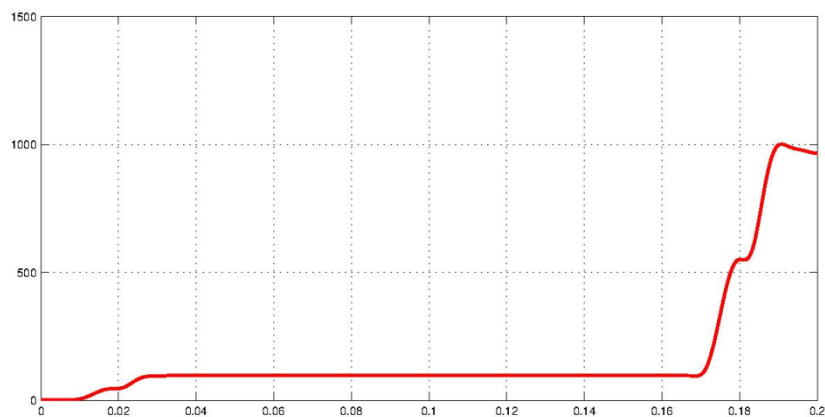


**6.5 pav.** Įtamos dydis TJ metu

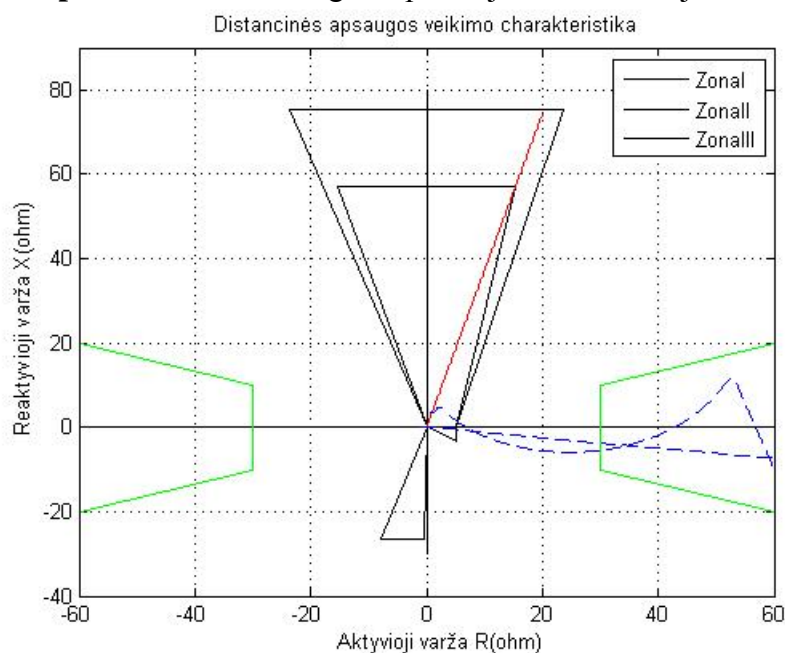


**6.6 pav.** Srovės dydis TJ metu

6.7 paveiksle parodyti Furjė transformacijos atlikti matavimai vienfazio trumpojo jungimo metu ( $K^1$ ). Iš sinusoidinio (50 Hz) signalo transformacijos metu buvo gauti įtamos ir srovės dydžiai, kurie apibūdina tiksliai TJ srovės ir įtamos reikšmes. Analizuojant oscilogramas matosi, kad gedimas kilo ties 0,17 s kurio metu srovė pasiekė 1kA, o įtampa nukrito iki keliasdešimties voltų. Galima teigti, kad Furjė transformacija yra viena svarbiausių skaičiavimo technikų naudojamų skaitmeninėse apsaugose.



**6.7 pav.** Srovės reikšmė gauta po Furjė transformacijos



**6.8 pav.** Distancinės apsaugos veikimo charakteristika ( $K^1$ )

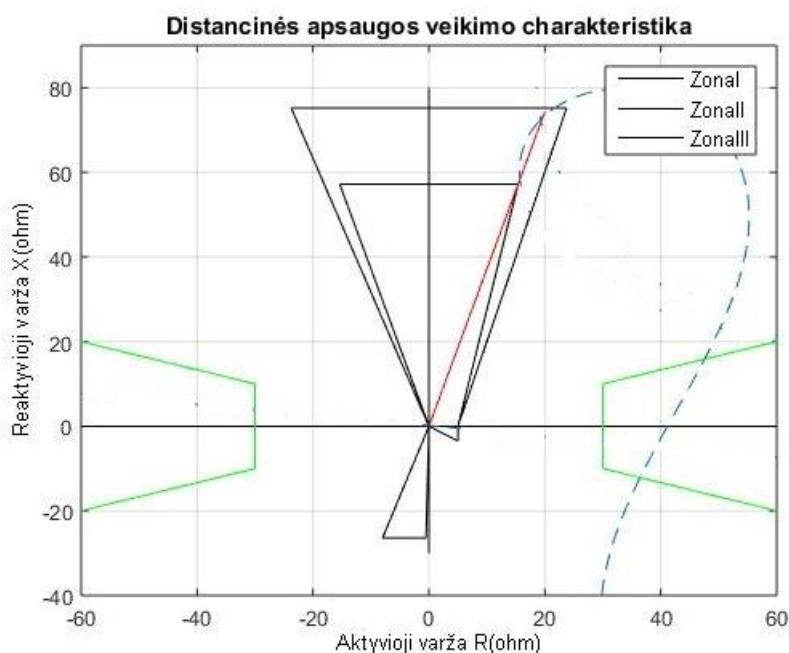
Pastaba: distancinės apsaugos veikimo charakteristikos sudarymo „Matlab“ failas bus pateikiamas pirmame priede.

Įvykus gedimui sumažėja sistemos varžos generatorių atžvilgiu. Matomas staigus varžos kitimas iš apkrovos zonos į distancinės apsaugos veikimo zoną (Zonal), kurioje varžos reikšmė nusistovi t.y. apsauga suveikia.

Įvykus TJ sumažėja sistemos varžos, atskirose grandyse padidėja srovės, o tinklo mazguose sumažėja įtampos. Trumpojo jungimo priežastys: elektros įrenginių izoliacijos pažeidimai dėl senėjimo, viršįtampių, mechaninių pažeidimų.

Trifazį TJ sukelia trijų fazinių laidų kontaktas. Įvykus trifaziam trumpajam jungimui elektros sistema padalinama į dvi dalis (nuo elektros šaltinio iki TJ vietos ir nuo TJ vietos iki apkrovos). Trumpojo jungimo srovės pirmoje dalyje būna gerokai didesnės.

Modeliu imituojamas trifazis TJ toli nuo apsaugos pastatymo vietos (30 km atstume). Kaip jau minėta, distancinėje apsaugoje naudojamos kelios apsaugos veikimo zonos tam, kad apsauga būtų jautri gedimams, kurie kyla toli nuo pastatymo vietos. Gedimo metu gauta charakteristika (6.9 pav.) rodo, kad apsauga užfiksavo gedimą antroje zonoje (ZonaII), kai varžos kreivė pateko į šią veikimo zoną.

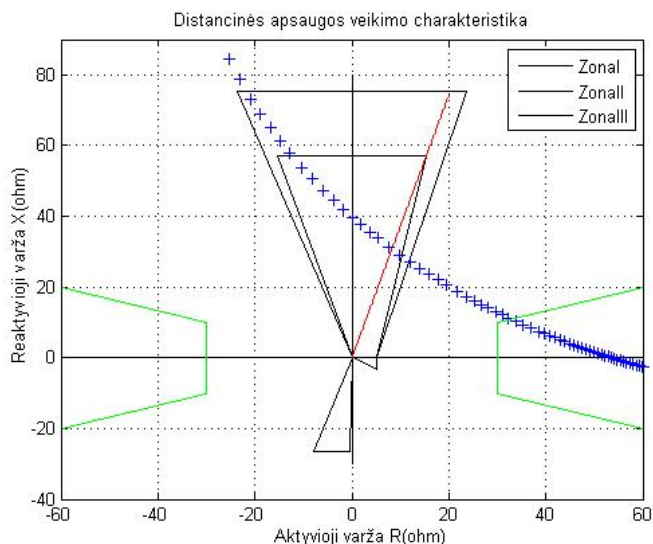


6.9 pav. Distancinės apsaugos veikimo charakteristika ( $K^3$ )

## 6.2. Įtampos švytavimų įtaka distancinei apsaugai

Kaip jau minėta anksčiau, elektros sistemose neįmanoma išvengti trumpalaikių įtampos sumažėjimų ar padidėjimų – įtampos švytavimų. Juos sukelia generatorių, elektros linijų atjungimai ar įjungimai, trumpieji jungimai tinkluose. Tokie režimai įtakoja distancinės apsaugos veikimą. Dėl įtampos svyravimų linijos varžos reikšmė gali išeiti iš normalios apkrovos zonos ir pereiti į relės veikimo charakteristiką. Esant stabiliam švytavimui yra ypač svarbu, kad apsauga nesuveiktų ir leistų elektros sistemai grįžti į stabilią būseną. Dėl šios priežasties daugelyje skaitmeninių distancinių apsaugų terminalų naudojama funkcija, kuri blokuoja apsaugos veikimą minėto proceso metu.

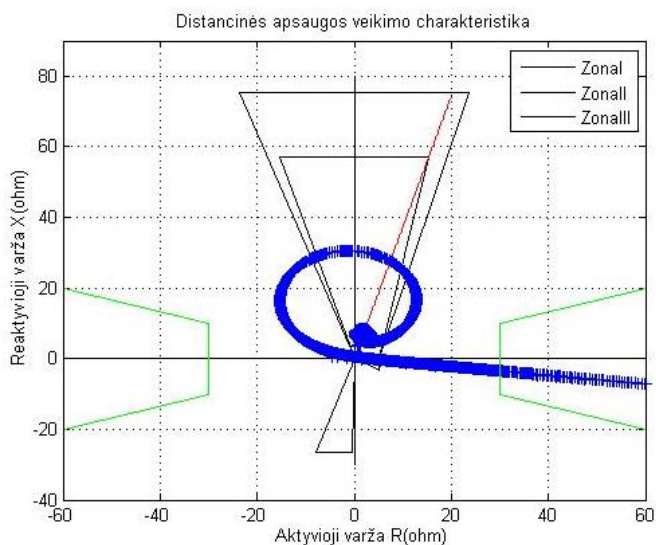
Naudojantis sukurtu modeliu yra tiriama apsaugos blokavimo funkcija. Pasinaudojant įtampos valdymo bloku „Matlab“ programoje, įtampos reikšmė yra keičiama 100-120kV ribose [12]. Tiriama apsaugos reakcija į įtampos svyravimą. Esant stabiliam įtampos kitimui varžos kreivės trajektorija kinta tolydžiai, apsauga neaptinka gedimo ir nesuveikia. (6.10 pav.).



**6.10 pav.** Apsaugos reakcija į įtampos švytavimą

Jeigu tinkle įvyksta TJ ir dar relėje būna nesibaigęs blokavimas, apsauga privalo reaguoti į naujas sąlygas [13]. Sudėtingi matavimų algoritmai seka varžų pokyčius. Jeigu svyravimų metu užfiksuojamas staigus varžos pasikeitimas veikimo zonoje, apsauga turi suveikti.

6.11 paveiksle matosi situacija, kai vykstant įtampos švytavimams, linijoje kyla gedimas, ko pasekoje apsauga suveikia.



**6.11 pav.** Gedimas įtampos švytavimo metu

## IŠVADOS

1. Kadangi distancinė apsauga pasižymi aukšto tikslumo matavimais, lengvu prisitaikymu įvairiuose tinklų struktūrose ir turi eilę papildomų funkcijų, bei gali aptikti įvairius trumpus jungimus, todėl plačiai naudojama perdavimo tinkluose.
2. Baigiamojo darbo metu buvo reikalinga iširti distancinės apsaugos veikimo principus bei veikimo charakteristikas, kad būtų galima sudaryti matematinį distancinės apsaugos modelį.
3. Distancinės apsaugos tyrimui programa „Matlab“ buvo suprojektuota apsaugos veikimo schema, kuri leido nustatyti pereinamųjų procesų įtaką apsaugai, iširti distancinės apsaugos veikimo zonų svarbą.
4. Baigiamojo darbo metu buvo atlikti distancinės apsaugos veikimo bandymai sistemoje esant įtampos švytavimams. Nustatyta, kad apsauga nesuveikia jeigu tinkle vyksta stabilus įtampos svyravimas. Leidžiama sistemai grįžti į stabilų režimą.
5. Apsaugos tyrimo metu buvo bandomas apsaugos jautrumas kilus trumpajam jungimui toli nuo relės pastatymo vietos. Kadangi relė turi keletą veikimo zonų, kurios praplečia apsaugos veikimo charakteristiką, nustatyta, kad toli esantį gedimą užfiksuoja antra veikimo zona.

## LITERATŪRA

1. KUNDUR, P. *Power system stability and control*. California, 1994. ISBN9780070359581.
2. SVINKŪNAS, Gytis ir Algimantas NAVICKAS. *Elektros energetikos pagrindai: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2013. ISBN 978-609-02-1001-7.
3. NARGĖLAS, Albertas. *Relinė apsauga ir automatika: mokomoji knyga*. Kaunas: Technologija, 2010.
4. AŽUBALIS, Vaclovas. *Statinis ir dinaminis elektros sistemų stabilumas: mokomoji knyga*. Vilnius, 1989.
5. ZIEGLER, Gerhard. *Numerical distance protection*. Germany: Erlangen, 2011. ISBN 978-3-89578-381-4
6. JAMES, P.Kelly. *Modeling and simulation of power system protection relays in a transmission-level application*. Toronto: Ontario, 2008.
7. ALSTOM, Grid. *Network protection and automation guide*. Germany, 2011. ISBN978-0-9568678-0-3.
8. *Siemens vadovas*. Vokietija: Siemens, 2015. C53000-G5040-C010-6.00.
9. JOHN, O.Attia. *Electronics and circuit analysis using MATLAB*. London: CRC Press, 2000. ISBN 0-8493-1176-4.
10. MREHEL, H. B. Elfetori, A. O. Hawal. Implementation and Evaluation a simulink model of a distance relay in matlab/simulink. SDIWC, 2013, pp.132-137, ISBN 978-0-9891305-3-0.
11. YESANSURE, T, G. Arora, Numerical quadrilateral distance relay, International journal of innovative research in science, *Engineering and Technology*, Vol. 2, Issue 7, July 2013, pp.2920-2927 [žiūrėta 2015-03-25], ISSN 2319-8753. Prieiga per: Science Direct.
12. UJJAVAL, J. Patel. Distance relaying with power swing detection based on voltage and reactive power sensitivity. *Power System*. 2016, 17(1), 27-38. Prieiga per: doi: <http://dx.doi.org/10.1515/ijeeps-2015-0109>.
13. PARASURAMAN, K. Sudheendra, Performance analysis of power swing in distance relay (quadrilateral relay) characteristics for series - compensated transmission line, International Journal of Advanced Research in Electrical, *Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 3, Special Issue 2, April 2014, pp. 272-281 [žiūrėta 2015-04-02], ISSN 2278 – 8875. Prieiga per: Science Direct.

Elektroninės duomenų bazės:

Internetinė svetainė: ABB firmos relinių apsaugų terminalai [žiūrėta 2015-04-20]. Prieiga per internetą:

[http://www.ceb5.cepel.br/arquivos/artigos\\_e\\_documentos/curso\\_iec\\_81850/17%20IED%20670%20REL670%20RED670.pdf](http://www.ceb5.cepel.br/arquivos/artigos_e_documentos/curso_iec_81850/17%20IED%20670%20REL670%20RED670.pdf)

Internetinė svetainė: Siemens firmos relinių apsaugų terminalai [žiūrėta 2015-03-10]. Prieiga per internetą:

<http://w3.siemens.com/smartgrid/global/en/productssystemssolutions/Protection/distanceprotection/Pages/7SA86.aspx>.



## PRIEDAI

**1 priedas.** Daugiakampės charakteristikos „Matlab“ failas.

## Daugiakampės charakteristikos „Matlab“ failas

```

% x,y ašių aprašymas
xa = [-60 60];
ya = [0 0];
xy = [0 0];
yy = [-30 80];

% 1 zonos parametrai
Un = 110000;
Umin = 0.9*Un;
Ia = 656;
linijos_ilgis = 43;
f = 50;
Z = 19.23 + 71.5*i;
R1 = 19.23;
L1 = 71.5;
saugoma_zona = 80;
zona_proc = saugoma_zona/100;
ZI = zona_proc*Z;
kampas = atan(2*pi*f*L1/R1);

%impedance line
t=0:0.01:20;
u=t*(L1/R1);

% Apsaugos veikimo zona
x1 = [0 5 5 15.38 0 -15.38 0];
y1 = [0 -3.5 0 57.2 57.2 57.2 0];

% 2 zonos parametrai
Z2 = 23.76+75.23*i;
R2 = 23.76;
L2 = 75.23;
Zrez = 13.89+36.84*i;
saugoma_zona2 = zona_proc*(ZI+Zrez);

% Apsaugos veikimo zona
x2 = [0 5 5 23.76 0 -23.76 0];
y2 = [0 -3.5 0 75.23 75.23 75.23 0];

% Apsaugos veikimo zona
x3 = [0 -0.5 -8 0];
y3 = [0 -26.4 -26.4 0];

% Apkrovos sritis
Ra = Umin/(Ia*sqrt(3));
kampas = 26;
xap = [60 30 30 30 60];
yap = [-20 -10 0 10 20];
xay = [-60 -30 -30 -30 -60];
yay = [-20 -10 0 10 20];

% Vaizdavimas
figure
plot(x1,y1,'k',x2,y2,'k',x3,y3,'k',xa,ya,'k',xy,yy,'k',t,u,'r',R,X,'+',xap,yap,'g',xay,yay,'g');
legend('ZonaI','ZonaII','ZonaIII');
title('Distancinės apsaugos veikimo charakteristika');
axis([-60 60 -40 90]);
xlabel('Aktyvioji varža R(ohm)');
ylabel('Reaktyvioji varža X(ohm)');

```