



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Kęstutis Slavinskas**

**AUTOMATINIO LINIJOS GEDIMO VIETOS NUSTATYMO,  
IZOLIAVIMO IR ELEKTROS TIEKIMO ATSTATYMO  
SISTEMOS TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Almantas Bandza

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA**

**AUTOMATINIO LINIJOS GEDIMO VIETOS NUSTATYMO,  
IZOLIAVIMO IR ELEKTROS TIEKIMO ATSTATYMO  
SISTEMOS TYRIMAS**

**Baigiamasis magistro projektas**  
**Elektros energetikos sistemos 612H63005**

**Vadovas**

Doc. dr. Almantas Bandza

2016 05 23

**Recenzentas**

Doc. dr. Gytis Svinkūnas

2016 06

**Projektą atliko**

Kęstutis Slavinskas

2016 05 23

**KAUNAS, 2016**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

---

(Fakultetas)

Kęstutis Slavinskas

---

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos, 612H63005

---

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Automatinio linijos gedimo vietos nustatymo, izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo sistemos tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA**

2016 m.

gegužės

23 d.

---

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Kęstučio Slavinsko** baigiamasis projektas tema „Automatinio linijos gedimo vietos nustatymo, izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo sistemos 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)

Slavinskas, K. Automatinio linijos gedimo vietos nustatymo, izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo sistemos tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Almantas Bandza; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2016. 71 psl.

## SANTRAUKA

Baigiamajame darbe kuriama automatizuota linijos gedimo vietos nustatymo, izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo sistema. Pagrindinis sistemos kūrimo tikslas, efektyviau spręsti vidutinės įtampos oro linijų avarijų likvidavimą bei elektros tiekimo atkūrimą. Darbe detalizuojami sistemos elementai ir jų charakteristikos, įvertinamos numatomos sistemos įdiegimo būtinios sąlygos, sukuriamas sistemos veikimo algoritmas, išskiriami sėkmingi sistemos veikimo etapai. Pagal pateiktą veikimo algoritmą sukuriamas sistemos modelis. Analizuojamas sistemos veikimo darbas imituojant dvifazius, trifazius trumpuosius jungimus linijose bei atšakose. Pateikiami analizės rezultatai bei išvados, kuriose įvardijama, kad visais avarinių režimų atvejais sistema sėkmingai nustato avarijos vietą, ją išskiria bei atkuria elektros tiekimą likusiems vartotojams.

*Reikšminiai žodžiai: Automatika, linija, gedimas, avarija, izoliavimas, atstatymas, tyrimas.*

Slavinskas, Kęstutis. Research on Automated Fault Location, Isolation and Service Restoration System of Power Line. Final project of bachelor's / supervisor doc. dr. Almantas Bandza; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Department of Electric Power Systems.

Kaunas, 2016. 71 p.

## **SUMMARY**

Master thesis analyses automated fault location, isolation and service restoration system of power line. The main purpose of the system development - solve the problem more effectively in the medium voltage overhead lines in emergency response and power restoration. The paper elaborated the system elements and their characteristics are evaluated using the system setup prerequisites, creates a system performance algorithm distinguishes the successful operation of the stages. The model of the system is created according to the given operation of the algorithm. Analyzing system performance work by simulating a two-phase , three-phase short circuits in lines and branches. Presenting results of the analysis and conclusions, which are referred to all cases of emergency mode system successfully determine the site of the accident, restores the power supply to other consumers.

*Keywords: Automation, fault location, line, isolation, restoration, reasech*

# TURINYS

ĮVADAS .....	11
1. APŽVALGINĖ DALIS .....	12
1.1 NAUJŲJŲ TECHNOLOGIJŲ DIEGIMAS .....	13
1.2 IŠMANAUS TINKLO APLINKA .....	15
1.3 PASKIRSTYTA VALDYMO SISTEMA (PVS) .....	17
2. METODINĖ DALIS .....	22
2.1 AUTOMATIKOS SISTEMA ALGNIA .....	23
2.2 ALGNIA VEIKIMAS .....	24
2.3 LINIJOS BŪKLĖS DAVIKLIAI (LBD) .....	30
2.4 TECHNINIAI REIKALAVIMAI ALGNIA SISTEMOS ĮDIEGIMUI .....	31
3. ALGNIA SISTEMOS TYRIMAS .....	33
3.1 ALGNIA SISTEMOS MODELIO STRUKTŪRA .....	33
3.2 TYRIMO TIKSLAI .....	38
3.3 TRUMPŲJŲ JUNGIMŲ ATPAŽINIMAS LINIJOJE .....	39
3.3.1 Trifazių trumpųjų jungimų atpažinimas pirmojoje linijos atkarpoje .....	39
3.3.2 Trifazių trumpųjų jungimų atpažinimas antrojoje linijos atkarpoje .....	43
3.3.3 Trifazių trumpųjų jungimų atpažinimas trečiojoje linijos atkarpoje .....	46
3.3.4 Trifazių trumpųjų jungimų atpažinimas ketvirtojoje linijos atkarpoje .....	49
3.3.5 Dvifazių trumpųjų jungimų atpažinimas linijoje .....	53
3.4 TRIFAZIO TRUMPOJO JUNGIMO ATPAŽINIMAS ATŠAKOJE .....	56
3.5 SISTEMOS GEDIMAS .....	60
REKOMENDACIJOS .....	63
IŠVADOS .....	64
LITERATŪRA .....	65
PRIEDAI .....	67

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Išmaniojo tinklo modelis .....	15
2 pav. Automatinio linijos gedimo vietos nustatymo, pažeistos vietos izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo įrenginio pajungimas su ryšio sistema ir RAA terminalais.....	27
3 pav. Normalių sujungimų schema .....	28
4 pav. Linijos pažeidimo atsiradimas .....	28
5 pav. Linijos B išjungimas suveikus relinei apsaugai .....	28
6 pav. Nuotolinio valdymo linijos skyrikliais izoliuojama avarijos vieta .....	29
7 pav. Vartotojų B-4 ir B-5 maitinimo atstatymas prijungus SA-1 nuotolinio valdymo linijos skyriklį .....	29
8 pav. Principinė valdymo schema .....	31
9 pav. ALGNIA sistemos principinė schema .....	33
10 pav. ALGNIA sistemos modelio schema Matlab progromoje .....	34
11 pav. Bedroji NBVS ir LBD principinė schema .....	34
12 pav. NBVS ir LBD vidinės logikos schema .....	35
13 pav. Principinė ALGNIA 1 įrenginio schema .....	35
14 pav. Vidinė ALGNIA įrenginio veikimo logika.....	36
15 pav. IED schema.....	37
16 pav. Vidinė IED logika.....	37
17 pav. Principė ALGNIA sistemos schema, kai avarija imituojama atkarpoje Q1-NBVS1 .....	40
18 pav. ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija pirmoje atkarpoje.....	41
19 pav. Srovės tekėjimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas pirmoje atkarpoje.....	41
20 pav. Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas pirmoje atkarpoje .....	42
21 pav. Principė ALGNIA sistemos schema, kai avarija imituojama atkarpoje NBVS1- NBVS2 ..	43
22 pav. ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija antroje atkarpoje .....	44
23 pav. Srovės tekėjimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas antrojoje atkarpoje.....	45
24 pav. Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas antrojoje atkarpoje.....	45
25 pav. Principė ALGNIA sistemos schema, kai avarija imituojama atkarpoje NBVS2- NBVS3 ..	46
26 pav. ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija trečiojoje atkarpoje ..	47
28 pav. Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas trečiojoje atkarpoje.....	48
27 pav. Srovės tekėjimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas antrojoje atkarpoje.....	48
29 pav. Principė ALGNIA sistemos schema, kai avarija imituojama atkarpoje NBVS3- Apkrova 4 .....	50
30 pav. ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija ketvirtojoje atkarpoje.....	51

31 pav. Srovės tekėjimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas ketvirtotjoje atkarpoje.....	51
32 pav. Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas ketvirtojoje atkarpoje .	52
33 pav. Principė ALGNIA sistemos schema, kai dvifazis trumpasis jungimas imituojamas atkarpoje NBVS2- NBVS3 .....	53
34 pav. ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija trečiojoje atkarpoje ..	54
35 pav. Srovės tekėjimo grafikas, kai dvifazis trumpasis jungimas trečiojoje atkarpoje .....	55
36 pav. Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai dvifazis trumpas jungimas trečiojoje atkarpoje ...	55
37 pav. Principė ALGNIA sistemos schema, kai trifazis trumpasis jungimas imituojamas atšoke Apkrova 2 .....	57
38 pav. ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija atšakoje Apkrova 2..	58
39 pav. Srovės tekėjimo grafikas, kai trifazis trumpasis jungimas atšakoje Apkrova 2 .....	58
40 pav. Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai trifazis trumpasis jungimas atšakoje Apkrova 2 ..	59
41 pav. Principė ALGNIA sistemos schema, kai sistemoje įvykus ryšio gedimui .....	60



## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Elektros energetikos sistemoje taikomų technologijų palyginimas .....	15
2 lentelė. Sėkmingi automatikos veikimo etapai .....	25
3 lentelė. Esamų linijos būklės daviklių sąrašas .....	30
4 lentelė. Modeliavimo rezultatai, kai trifazis trumpas jungimas pirmoje atkarpoje .....	42
5 lentelė. Modeliavimo rezultatai, kai trifazis trumpas jungimas antrojoje atkarpoje .....	45
6 lentelė. Modeliavimo rezultatai, kai trifazis trumpas jungimas trečiojoje atkarpoje.....	49
7 lentelė. Modeliavimo rezultatai, kai trifazis trumpas jungimas ketvirtojoje atkarpoje .....	52
8 lentelė. Modeliavimo rezultatai, kai dvifazis trumpasis jungimas trečiojoje atkarpoje .....	56
9 lentelė. Modeliavimo rezultatai, kai trifazis trumpas jungimas antrojoje atšakoje .....	59

## SANTRUMPŲ IR ŽENKLŲ AIŠKINIMO ŽODYNAS

**ALGNIA** – Automatinis linijos gedimo vietos nustatymas, pažeistos vietos izoliavimas ir elektras tiekimo atstatymas.

**AKĮ** – Automatinis kartotinas įjungimas.

**LBD** - linijos būklės daviklių.

**DVS** - dispečerinio valdymo sistemą.

**IED** – (angl. *Intelligent Electronic Device*) skaitmeninis relinės apsaugos ir automatikos terminalas.

**NBVS** – (angl. *Recloser*) nuotoliniu būdu valdomus skyriklis.

**NBVSS** – (angl. *Recloser*) nuotoliniu būdu valdomus sekcijinis skyriklis.

**GOOSE** – (angl. *Generic Object Oriented Substation Event*) – bendrinis įvykis siunčiamas pastotės įrenginiams.

**PVS** – Paskirstyta valdymo sistema.

**TPV** - Tinklo pažeidimų valdymas.

**STVS** - Skirstomojo tinklo valdymo sistema.

**PAVS** - Pastato automatizavimo ir valdymo sistema.

**IRT** - Informacinės ir ryšių technologijos.

**EVS** - Energijos valdymo sistema.

**MDV** - Mobilus darbo jėgos valdymas.

**STA** - Skirstomojo tinklo analizė.

**LBD** - Linijos būklės daviklis.

## ĮVADAS

Plėtojant skirstomojo tinklo technologijas vis didesnis dėmesys skiriamas išmaniųjų tinklų vystymui. Tuo tikslu pasitelkiamos technologijos, kurios leidžia greičiau identifikuoti gedimus, operatyviau juos šalinti, tiksliau planuoti tinklo režimus, todėl pradėtas intensyvus skirstomojo tinklo automatizavimo technologijų vystymas. Vis didesnis dėmesys skiriamas tinklo valdymo ir greitesnio avarių lokalizavimo metodų kūrimui. Pasaulyje pradėtos kurti linijos gedimo vietos nustatymo, pažeistos vietos izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo sistemos, kurių pagalba skirstomajame tinkle galima greitai nustatyti pažeistą tinklo vietą, ją lokalizuoti bei nedelsiant, atstatyti elektros tiekimą likusiems vartotojams. Svarbu atkreipti dėmesį, kad tokios automatikos koncepsija yra efektyvi ir naudinga, nors iki šios dienos nėra priimta vieninga ir optimaliausiai veikianti sistema, todėl pateikiamos įvairios gedimų atpažinimo sistemos bei metodologijos. Siekiamybė sukurti pilnai automatizuotą linijos gedimo vietos nustatymo, izoliavimo, likvidavimo ir elektros tiekimo sistemos metodiką bei sistemos prototipą, kuris galėtų veikti savarankiškai, be papildomo žmogaus įsikišimo.

### **Darbo tikslas:**

1. Sukurti automatizuotą linijos gedimo vietos nustatymo, izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo sistemą, leidžiančią efektyviau spręsti vidutinės įtampos oro linijų avarių likvidavimą bei elektros tiekimo atkūrimą.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Sudaryti sistemos veikimo algoritmą;
2. Sukurti automatinį pažeistos vietos suradimo, izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo modelį;
3. Įvertinti sukurto modelio veikimo galimybes, esant avariniams režimams skirstomajame tinkle. Nustatyti, per kokį laikotarpį galima izoliuoti avarijos vietą ir atkurti elektros tiekimą atjungtiems vartotojams;

Tiriamąjį darbo ataskaitą sudaro trys pagrindiniai skyriai. Pirmojoje apžvalginėje dalyje pateikiamas darbo aktualumas bei atliekama literatūros apžvalga. Antrajame skyriuje, pateikiamas ALGNIA sistemos apibrėžimas detalizuojamas veikimo algoritmas, pateikiamas sistemos elementų aprašas bei įvertinamos numatomos sistemos įdiegimo būtinosios sąlygos. Trečiajame skyriuje pateikiamas ALGNIA sistemos modelis. Atliekama sistemos veikimo analizė esant įvairiems avariniams režimams bei pateikiami gauti rezultatai.

## 1. APŽVALGINĖ DALIS

Elektros tinklų užduotis - patikimai ir ekonomiškai aprūpinti vartotojus kokybiška elektra. Per skirstomuosius elektros tinklus didžioji elektros energijos dalis pasiekia vartotojus. Šalių patirtis rodo, kad didžioji elektros tinklų, išlaidų dalis tenka skirstomiesiems elektros tinklams. Taigi, gerinant elektros tinklų, darbo kokybę, siekiant ekonomiško, pastebimą efektą galima pasiekti didesnę dėmesį skiriant skirstomiesiems elektros tinklams [1].

Todėl plėtojant tinklo valdymo priemones ypatingas dėmesys skiriamas išmaniojo tinklo technologijų vystymui. Visuotinai priimto išmaniųjų tinklų apibrėžimo nėra, tačiau plačiąją prasme – tai visos elektros energetikos sistemos, nuo gamybos iki vartojimo, valdymo perkėlimas į elektroninę erdvę. Išmanieji tinklai padeda lanksčiau valdyti tinklą, greičiau identifikuoti gedimus, operatyviau juos šalinti, tiksliau planuoti tinklo režimus, efektyviau išnaudoti turimus pajėgumus, užtikrinti reikiamus elektros energijos kokybės parametrus bei mažinti elektros energijos nuostolius [2].

Skirstomojo tinklo operatoriai išskiria mažai automatizuotą vidutinės įtampos tinklo valdymą kaip vieną pagrindinių skirstomojo tinklo problemų. Skirstomajame tinkle paskutinį dešimtmetį prioritetą skiriamas aukštesnės įtampos tinklo elementų (110 kV pastočių, 35 kV linijų ir 35 kV pastočių) valdymo automatizavimui. Per šį laikotarpį 110 kV ir 35 kV pastotės bei jose esantys 10 kV komutaciniai aparatai prijungti prie nuotolinio valdymo įrangos (SCADA), dalyje 10 kV linijų sumontuoti automatiniai jungtuvai, taip suteikiant galimybę realiu laiku stebėti pastočių darbą ir, esant poreikiui, atlikti reikalingus perjungimus atskiruose tinklo segmentuose. Prioritetus aukštesnės įtampos įrenginius, didelė dalis vidutinės įtampos įrenginių išliko neautomatizuoti [2]. Todėl vidutinės įtampos tinklo automatizavimas priskiriamas prioritetinių darbų sąrašui, kurių įgyvendinimas leistų pagerinti daugelį skirstomojo tinklo parametrų.

To pasekoje pradėtas intensyvus skirstomojo tinklo automatizavimo technologijų vystymas. Ypatingai didelis dėmesys skirtas tinklo valdymo ir greitesnio avarijų lokalizavimo metodų kūrimui. Tuo tikslu pradėtos kurti linijos gedimo vietos nustatymo, pažeistos vietos izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo sistemos, kuriu pagalba skirstomasis tinklas ne tik tampa automatizuotu, bet ir greitai nustatyti. pažeistą tinklo vietą, ją lokalizuoti, bei, nedelsiant, pagal tinklo topologiją atstatyti elektros tiekimą likusiems vartotojams. Toks elektros tiekimo atkūrimas vietoj įprastų 45-75 min. gali užtrukti tik iki 1-5s. Automatinio linijos gedimo vietos nustatymo, pažeistos vietos izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo įrenginio pajungimas su ryšio sistema ir RAA terminalais). Savarankiškos automatinės sistemos veikimos leistų pe papildomo žmogaus įsikišimo sėkmingai ištaisyti avarijos padarinius.

## 1.1 Naujų technologijų diegimas

Elektros energetikos pagrindinis tikslas yra užtikrinti valstybės saugumą, stabilumą bei darnią plėtrą atsižvelgiant aplinkos apsaugos reikalavimus. Didelė dalis elektros energetikos tinklų infrastruktūros pasiekė savo techninio resurso pabaigą, nes didžioji dalis įrangos buvo įdiegta praeito šimtmečio septintame dešimtmetyje. Kita vertus, stiprus politinis energetikos reguliavimas bei išaugusi konkurencija skatina mažinti energijos kainas bei efektyviau vartoti energijos resursus ir daugiau dėmesio skirti atsinaujinančiai energijai tokiai kaip saulės, vėjo, biomasės ir vandens. Būtina patenkinti elektros vartojimo poreikius tinkamai naudojant įvairius pirminės energijos šaltinius. Padidinti elektros gamybos, perdavimo, skirstymo bei vartojimo efektyvumą, garantuoti prieinamą elektros energijos kainą. Užtikrinti elektros energetikos sistemos saugumą, elektros tiekimo patikimumą ir energijos kokybę. Visuose savo raidos etapuose EES buvo modernių technologijų vartotoja ir skatintoja. Dabar niekas neabejoja, kad EES tolesnė plėtra įmanoma tikrai sparčiau diegiant informacines technologijas [3], [4].

Daugelyje šalių politinis ir ekonominis reguliavimas verčia mažinti išlaidas elektros energijos tiekimui ir skirstymui. Todėl nauji metodai (daugiausia remiantis šiuolaikinių skaitmeninių informacinių ir ryšių technologijų pastangomis) skirti elektros energetikos sistemoms, užtikrina saugią, tvarią ir konkurencingą elektros energijos vartojimą [5].

Daugelyje šalių elektros energetikos politinis reguliavimas ir elektros rinkos liberalizavimas verčia elektros energijos tiekėjus mažinti elektros energijos perdavimo ir skirstymo eksploatacijos išlaidas. Naujos ryšių ir informacinės technologijos plačiai naudojamos elektros energetikos sistemose. Jomis siekiama užtikrinti tvarų, saugų ir konkurencingą elektros energijos tiekimą vartotojams.

Pagrindiniai elektros rinkos dalyviai yra už „išmanaus tinklo“ valdymo sprendimus, nes:

- didėja elektros energijos poreikis;
- didėja atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimas;
- tvarumas;
- reikalingas didesnis elektros energijos tiekimo saugumas;
- energijos kaina konkurencinga;
- senėja elektros įranga ir brangsta darbo jėga.

Vartotojai turi įvaldyti šiuos uždavinius:

- pažaboti didėjančios elektros energetikos sistemos apkrovą;
- didėja atstumai tarp elektros energijos generavimo šaltinių ir vartotojų;

- atsinaujinančių šaltinių nestabilumas ir didžiuliai generuojamos galios svyravimai;
- naujos apkrovų rūšys (hibridiniai ir elektros automobiliai);
- didėjantis paskirstytos generacijos šaltinių kiekis;
- energijos atsinaujinimo galimybės;
- efektyvi energijos prekyba;
- elektros tinklo stabilumas avarijų metu;
- Skaidri elektros vartojimo ir kainų politika;
- Efektyvus reguliavimas.

Terminas „išmanus tinklas“ šiandien vartojamas kaip rinkodaros, o ne kaip techninis terminas. Dėl šios priežasties nėra aiškumo ką šis terminas reiškia ir kokia jo paskirtis.

Tačiau plačiai taikomos šiuolaikinės technologijos gerinančios elektros energetinės sistemos valdymą bei padeda atlikti elektros įrengimų priežiūrą. „Išmaniųjų tinklų“ technologijos padeda statiška elektros energetikos sistemos infrastruktūra pakeisti į „gyvą“ sistemą, kuri lanksčiai prisitaiko prie pastoviai besikeičiančios aplinkos ir darbo sąlygų.

„išmanusis tinklas“ apibrėžiamas kaip elektros energetinės sistemos modernizavimo koncepcija [5]. Kuris įvardijamas kaip integruota elektros tinklo ir informacinių sistemų visuma apimanti visas EES sritys.

Europoje išmanusis tinklas suprantamas taip – išmanusis tinklas yra elektros tinklas galintis išmaniai savyje integruoti visų, prie jo prijungtų elektros sistemos dalių veiksmus, siekiant efektyviai užtikrinti tvarų, ekonomišką ir patikimą elektros tiekimą [6].

Išmanus tinklas apima novatoriškus produktus ir paslaugas su pažangiomis stebėsenos, valdymo, ryšių ir „save – gydančiomis“ technologijomis:

- leidžiančios palengvinti ryšį tarp įvairiausių galių generatorių;
- leidžiančios vartotojams vaidinti tam tikrą vaidmenį optimizuojant elektros energetikos sistemos veikimą;
- suteikiančios vartotojams daugiau informacijos ir elektros tiekėjo pasirinkimą;
- ženkliai mažinančios poveikį aplinkai visose elektros energetikos sistemos dalyse;
- padidinančios tiekiamos elektros energijos patikimumą ir saugumą.

Diegiamas išmanus tinklas privalo apimti ne tik modernias technologijas, bet ir elektros rinkos, ir komercijos interesus, elektros energetikos daromą poveikį aplinkai, sistemos reguliavimą, norminę – teisinę bazę, taikomus standartus, IRT (informacinę ir ryšių technologijų) ir migracijos strategijas bei socialinius reikalavimus, vyriausybinus nutarimus.

Naudojant šiuolaikines informacines technologijas, išmanusis tinklas yra pajėgus efektyviausiai aprūpinti vartotojus elektros energija, nes pajėgus greitai prisitaikyti prie elektros tinklo pasikeitimų. Teigiama, kad išmanusis tinklas galėtų reaguoti į visus tinklo sutrikimus nepriklausomai nuo to, kurioje jo dalyje jie įvyktų, gaminant elektrą, ją perduodant, skirstant ar vartojant. Pavyzdžiui, sugedus skirstomojo tinklo galios transformatoriui išmanusis tinklas gali automatiškai pakeisti tinklo konfigūracija ir tinkamai sureguliuoti galios srautus taip, kad nenukentėtų vartotojai.

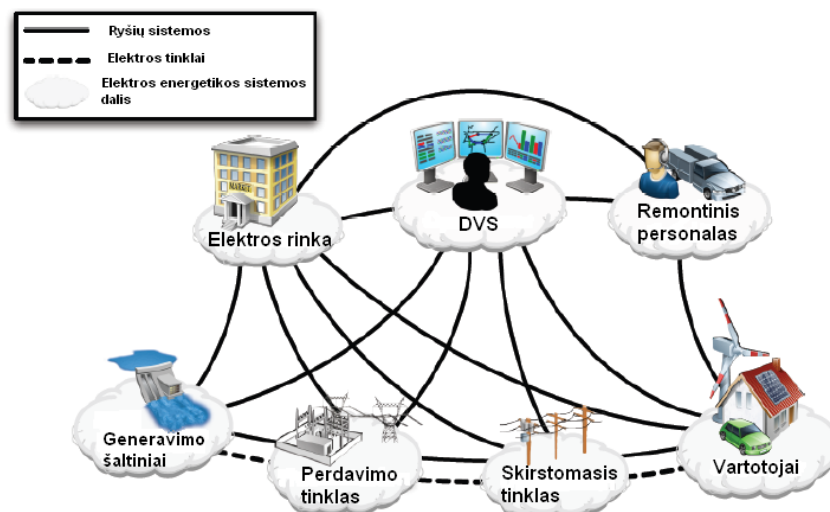
Trumpas palyginimas tarp egzistuojančios elektros energetinės sistemos ir išmanaus tinklo pateiktas 1 lentelėje.

**1 lentelė.** Elektros energetikos sistemoje taikomų technologijų palyginimas

Technologijos	Esama EES	Išmanus tinklas
RAA	Elektromechaninės	Skaitmeninės
Ryšys	Vienos krypties	Dviejų krypčių
Generavimo šaltiniai	Centralizuotas generavimas	Paskirstyta generacija
Informacijos rinkimas	Keli davikliai	Daviklių sistema
Įrengimų priežiūra	Įrengimų apžiūra	Pastovus įrengimų monitoringas
Maitinimo atstatymas	Atliekamas operatyvinių brigadų	„save gydantys“ tinklai
Sisteminės avarijos	Kaskadinė sistemos griūtis	Prisitaikymas „salos“ režimas
Sistemos valdymas	Ribotas atskirų įrengimų valdymas	Prisitaikantis valdymas

## 1.2 Išmanaus tinklo aplinka

Išmanus tinklas jungia visas elektros energetikos sistemos dalis į vieną visumą kurių darbas orientuojamas pagrinde verslui, tai yra visi išmanaus tinklo sprendimai privalo būti derinami prie vartotojų poreikių (žr. 1 pav).



**1 pav.** Išmaniojo tinklo modelis

Išmaniojo tinklo sudedamosios dalys:

- Išmanus vartojimas. Pasirinkus jį galima geriau patenkinti elektros energijos poreikius. Tam pasitelkiant išmaniąsias technologijas tokias kaip išmanus namas ir kitas.
- Vietinė elektros energijos gamyba. Šiuo metu neturi didelės reikšmės, bet išmaniajame tinkle jis gali būti vienas iš elektros energetikos sistemos generavimo šaltinių;
- Taupantis išmanus namas. Tai yra namas, kuriame įrengta efektyvi automatizavimo sistema leidžianti pagerinti žmogaus gyvenimą. Namų automatizavimo sistemą apjungia keletą technologinių sprendimų, tai yra: apšvietimo valdymo sistema; langinių ir žaliuzių valdymas; vėdinimo sistemos; buities prietaisų ir kitų įrengimų su bendra infrastruktūrą valdymo sistemos užtikrinančios efektyvų elektros energijos vartojimą, ekonomišką ir patikimą veikimą su didesnio komforto įvairovę.
- Pastato automatizavimo ir valdymo sistema (PAVS) yra išmanaus pastato smegenys. PAVS apima buities prietaisų ir kitų elektros įrengimų valdymo technologijas, statybinių konstrukcijų, lauko įrengimų, ir kitų įrenginių galimą automatizavimą. PAVS sieja visus produktus ir paslaugas, kurioms reikalingas automatinis valdymas, įskaitant logines, valdymo, stebėsenos, optimizavimo, eksploatavimo funkcijas, reikalingas ekonomiškai ir energiją taupančiai bei patikimai pastato eksploatacijai.

Generavimo šaltiniai

- Išmanieji generavimo šaltiniai daugiau bus orientuoti į galios elektronikos panaudojimą siekiant valdyti tinklo harmonikų lygį, gedimų plitimą, sureguliuoti atsinaujinančių energijos šaltinių tokių kaip saulės ir vėjo elektrinės generuojamos galios svyravimus, pagerins iškastinio kuro elektrinių darbo lankstumą.

Elektros tinklas (perdavimas ir skirstymas)

- Relinė apsauga ir automatika yra saugaus elektros energijos tiekimo pagrindas. Šiuo metu Lietuvoje vis plačiau naudojamas LST EN 61850 ryšio standartas gerinantis relinės apsaugos ir automatikos sistemų patikimumą ir plečiantis jų funkcionalumą.
- Elektros energijos kokybės ir jos parametrų stebėjimo sistemos veikia labai panašiai kaip įmonių produkcijos kokybės valdymo sistemos. Tai yra, nepriklausoma nuo sistemos operatoriaus, stebėsenos sistema prižiūri visas elektros tinklo veiklas ir atitinkamų tinklo dalių elektros įrengimus. Tokios sistemos gali būti naudojamos kaip „išankstinio perspėjimo sistemos“, kurios analizuoja valdymo sistemų padarytas klaidas ir netinkamus sprendimus.
- Energijos valdymo sistema (EVS) yra perdavimo tinklo valdymo centras. Vis daugiau reikalaujama valdymo atvirumo, kad vartotojas galėtų lengviau integruotis į esamą informacijos tinklą siekiant gauti aiškesnę informaciją (informacijos apie tinklo srautus, vektorių matavimus, tinklo statinį ir dinaminį stabilumą) tam, kad išvengtų sisteminių avarių ir jų padarinių.
- Skirtingai nuo tradicinės relinės apsaugos ir automatikos įtaisų, saugančių tinklo pirminius įrenginius (pavyzdžiui, galios transformatorius, elektros perdavimo linija) nuo pavojingos trumpojo



jungimo srovės, naujosios priešvarinė automatikos sistemos pagelbės visam tinklui išvengti galimų sisteminių avarijų padarinių.

- Galios elektronikos naudojimas elektros energetikos sistemoje, padeda kontroliuoti elektros energijos srautus tarp atskirų sistemų. Taip pat gali padėti padidinti elektros tinklo pralaidumą nepadidinus trumpųjų jungimų srovių.

- Skirstomojo tinklo relinė apauga ir automatika: vis sparčiau nuotolinis valdymas ir automatizavimas skverbėsi į skirstomąjį tinklą. Tokių technologijų kaip automatinis rezervo įjungimas, nuotolinis ARĮ, automatinis avarijos izoliavimas, taikymas leidžia skirstomajam tinklui vis aktyviau įsitraukti į „save gydančio tinklo“ technologijų įsisavinimą. Kitas žingsnis yra paskirstytos energijos išteklių panaudojimas kuriant autonominės tinklo ląstelės (mikrotinklo) kūrimas. Mikrotinklas gali padėti užtikrinti elektros energijos tiekimą vartotojams, net jei pardavimo tinklas, dėl sisteminių avarijų, nebegali tinkamai funkcionuoti

- Skirstomojo tinklo valdymo sistema (STVS) yra panaši valdymo sistema kaip ir energijos valdymo sistema ir taip pat turi bendrą skirstomojo tinklo valdymo centrą. Kai kuriose šalyse, kuriose dažnas avarijų skaičius, kuriamos papildomos avarijų valdymo sistemos (AVS). Šios sistemos yra svarbios STVS dalis. AVS svarbios dalys yra geografinės informacijos sistemos (GIS).

- Išmanaus skaitliuko terminas apima plačią sąvoką bendrai apimančią elektros parametru matavimo prietaisą ir ryšio sistemas. Išplėstinė matavimų infrastruktūra (IMI) (angliškai “Advanced Metering Infrastructure” (AMI)) leidžia nuotoliniu būdu konfigūruoti matavimo prietaisus, taikyti dinaminę tarifų sistemą, atlikti elektros energijos stebėseną ir valdyti apkrovas. Derinti elektros parametru matavimus su išmanaus tinklo technologijomis.

Ryšų sistemos kaip visuma yra viso išmanaus tinklo pagrindas. Tik keičiantis informaciją tarp visų elektros energetikos sistemos dalių galima pasiekti pažangios elektros tinklo pažangos.

Saugumas didžiausia problema, kurią privalo efektyviai spręsti technologijos taikomos išmanaus tinklo ryšio sistemose. Išmanaus tinklo sprendimai sukuria didelius informacijos srautus, kuriuos reikia efektyviai suvaldyti. Todėl informacijos keitimasis tarp atskirų sistemos dalių saugumas yra ypač aktualus.

### **1.3 Paskirstyta valdymo sistema (PVS)**

Paskirstyta valdymo sistema surenka realaus laiko duomenis apie elektros energetikos skirstomojo tinklo būklę ir perduoda visą informaciją į dispečerinio valdymo sistema [7].

PVS privalumai:

- Sumažinti neteikiamos energijos trukmę;
- Greitai ir tiksliai prognozuoti tiekimo nutraukimo priežastis;
- Sumažinti iškvietimų į tiekimo nutraukimo vietą;
- Pagerinti skirstomojo tinklo veiklos efektyvumą;

- Sumažinti žmogiškus išteklius skirstomojo tinklo aptarnavimui;
- Koordinuoti ir efektyvinti elektros tinklų personalo darbą;
- Didinti elektros energijos tiekimo patikimumą vartotojams;
- Tiksliau informuoti vartotojus apie atstatymo darbus ir terminus;
- Sekti elektros įrengimų būklę ir efektyviau planuoti jų remontus.

Skirstomojo tinklo išmanusis tinklas sutelkia dėmesį į keturias pagrindines skirstomojo tinklo veiklos sritis:

- Patikimumas – gerinti skirstomojo tinklo patikimumo lygį mažinant nepateiktos elektros energijos trukmę;
- Efektyvumas – racionalizuoti ir automatizuoti skirstomojo tinklo valdymą; gerinti operatorių, dispečerių ir operatyvinių brigadų produktyvumą;
- Sauga – nuotolinis komutacinių aparatų valdymas, užtikrinantis operatyvinio personalo ir visuomenės saugumą;
- Prieinamumas.

Sumanusis tinklas keičia mums įprasto skirstomojo tinklo supratimą, jo valdymą projektavimą ir aptarnavimą. Paskirstyto valdymo sistema yra pagrindinis komponentas leidžiantis atlikti šiuos pasikeitimus.

Paskirstyto valdymo sistema yra neatskiriama sumanaus tinklo dalis. Tai sumanaus tinklo branduolys užtikrinantis visus reikalavimus, kuriuos formuoja sumanusis tinklas. Jis taip pat tarnauja kaip skirstomojo tinklo valdymo pagrindas užtikrinantis elektros energijos tiekimo optimizavimo ir efektyvumo gerinimo sprendimams. Paskirstyto valdymo sistema aprūpina tinklo valdymo operatorių informacija apie tinklo būklę, atlieka prevenciją išpėjant personalą apie galimas tinklo sutrikimo galimybes.

Įdiegiant paskirstyto valdymo sistemą reikalinga daugelio skirtingos elektros įrangos komponentų tarpusavio integracijos – nutolusių mazgų, matavimo daviklių, komutacinių aparatų, ryšių, valdymo centro, pagalbinių sistemų bendro darbo. Bendras šių elektros įrenginių darbas įgyvendina sumanių tinklų sprendimus [8].

Daugeliu atvejų reikalingas gerai koordinuotas kelių skirstomųjų tinklų darbas užtikrinant patikimą ir nepertraukiamą elektros energijos tiekimą vartotojams. Paskirstyto valdymo sistemos integravimas į jau esamą skirstomojo tinklo valdymo sistemą pagerina operatyvinį tinklo valdymą. Ypatingai svarbi jos pagalba didelių gedimų, tokių kaip audros pagalba informuojant apie padėtį tinkle ir pagreitinant valdymą taupant operatyvinio personalo laiką ir išteklius.

Senstant tinklo elektros įrenginiams dažnėja elektros energijos tiekimo sutrikimai. Siekiant kaip galima ilgiau ir efektyviau išnaudoti esamą skirstomojo tinklo įrangą, paskirstyto valdymo sistema

tampa pagrindiniu įrankiu, leidžiančiu išlaikyti ir gerinti elektros tiekimo patikimumą ir mažinti skirstomojo tinklo valdymo sudėtingumą, automatizuojant tinklo valdymo darbo procesus.

PVS gali padėti pagerinti skirstomojo tinklo veiklos rodiklius. Pasaulyje ir Europoje elektros energijos vartojimas padidėjo, todėl valdymo galimybių optimizavimas ir patikimas elektros energijos tiekimas tampa svarbiais skirstomojo tinklo valdymo uždaviniais. Siekiama kaip galima greičiau nustatyti pažeistą tinklo segmentą ir jo elementą, jį izoliuoti atjungiant komutacinius aparatus ir užtikrinti vartotojams maitinimą. Šių uždavinių sprendimui atsiranda paskirstyto valdymo sistemos poreikis kuri gali kaupti ir valdyti visus informacinius srautus iš skirstomojo tinklo elementų.

Paskirstyto valdymo sistema turi programų, kurios gali stebėti bei efektyviai ir patikimai kontroliuoti skirstomąjį tinklą ne tik iš pastočių, bet ir atskiras vartotojų transformatorines bei atskirus linijos segmentus. Ji veikia kaip dispečerio priimtų sprendimų paramos dalis. Padeda dispečeriniam valdymo centrui efektyviai kontroliuoti operatyvinių brigadų veiklą, atlieka nutolusių elektros įrengimų priežiūros pagalbą bei elektros energijos tiekimo efektyvumo kontrolę ir gerinimą. Padeda sumažinti prastovų laiką. Padeda užtikrinti vartotojams tiekiamos elektros energijos kokybės rodiklius. Gerina patikimumą.

Skirstomuosiuose tinkluose vis plačiau diegiami informacinių technologijų sprendimai, kurių pagalba nustatomos pažeistos tinklo vietos ir izoliuojama pažeista sritis. Tokiems tikslams vis plačiau taikoma tinklo pažeidimų valdymas (TPV).

Paskirstyto valdymo sistema savyje apima TPV ir kontroliuoja jos visus automatizuotus valdymo veiksmus. Ji dispečeriniam centrui pateikia realaus laiko duomenys apie tinklo įrengimų būklę ir tiekiamos vartotojams elektros energijos kokybės rodiklius. Geografinėje atvaizdavimo sistemoje parodo pažeidimus ir operatyviniu būdu valdomus aparatus bei jų būklę.

Paskirstyto valdymo sistema turi veiksmingą interaktyvią vizualinę aplinką, kuri apjungia visus informacinius šaltinius pagal įrengimų darbo vietą, jų būklę realiu laiku. Tai leidžia dispečeriniam personalui matyti realią situaciją skirstomajame tinkle, priimti tinkamus sprendimus, prognozuoti galimus sutrikimus bei planuoti tinklo remonto ir avarijų pasekmių likvidavimo darbus. Padidina aiškumą avarinėse situacijose ir pagerina operatyvinę kontrolę. Paskirstyto valdymo sistema taip pat palaiko įprastą skirstomojo tinklo valdymą, palengvina operatyvinių brigadų darbą.

Nuolat prie skirstomojo tinklo jungiami nauji elektros energijos vartotojai ar tiesiamos naujos elektros linijos. Tai nuolat keičia patį skirstomąjį tinklą. Paskirstyto valdymo sistema privalo būti dinamiška ir apimti ne tik esamus skirstomojo tinklo elementus, bet turėti galimybę plėstis ir keistis keičiantis pačiam skirstomajam tinklui. Paskirstyto valdymo sistema turi turėti galimybę keistis pasikeitus skirstomojo tinklo elementams ar jų charakteristikoms. Sistema turi turėti įrankius kuriuo būtų galimybė esamą funkcionalumą papildyti naujomis funkcijomis. Turi būti garantuojama, kad paskirstyto

valdymo sistema yra nepriklausoma nuo elektros įrangos gamintojų tai yra, paskirstyto valdymo sistema yra neutrali bet kurio elektros įrengimo gamintojo produkcijai.

Vartotojai tikisi, kad gaus elektros energija ir, kad ji bus tiekama nenurūkstamai. Tiek pramonės, tiek buities vartotojams bet koks elektros tiekimo sutrikimas yra nepriimtinas ir įvairaus tipo avarijos sutrikdo elektros tiekimą, kuris perauga į nepatogumus ir yra nepriimtinas visų tipų elektros energijos vartotojams. Interaktyvių ir skaitmeninių technologijų diegimas valdyti skirstomąjį tinklą yra sumanių tinklų pagrindas.

Paskirstyto valdymo sistema susideda iš daugelio posistemų, kurios garantuoja tinkamą sistemos darbą. Posistemės apima platų papildomų ir palaikančių funkcijų spektrą, užtikrinančių sklandų paskirstyto valdymo sistemos darbą. PVS naudojamos pagrindinės posistemės:

- Tinklo pažeidimų valdymas (TPV) – suteikia galimybę peržiūrėti tinklo sujungimus ir įrenginių būklę ir efektyviai valdyti avarines tinklo situacijas automatiškai atstatant elektros energijos tiekimo vartotojams sutrikimus, avarijų metu ir po jų.

- Mobilus darbo jėgos valdymas (MDV) – suteikia galimybę palengvinti operatyvinio personalo koordinavimą atliekant perjungimus bei suteikia galimybę elektroninių būdų gauti rekomendacijas iš TPV atstatinėjant avarijų pasekmes. Ši posistemė leidžia sumažinti laiko sąnaudas atliekant iškeltus uždavinius ir gerinti žmonių saugumą.

- Skirstomojo tinklo analizė (STA) – atlieka sudėtingus apkrovų srautų ir įtampos valdymo skaičiavimus, siekiant pagerinti apkrautų elektros įrengimų darbą, paskirstant apkrovimus tarp linijų ir taip išvengiant įrangos pažeidimų. Visu pirma posistemė gali nustatyti perkrovų priežastis ir dispečeriui pateikti pasiūlymus kaip optimaliai perjungti tinklą, kad būtų išvengta esamų perkrovų. Ši posistemė pateikia operatyviniam personalui galimas perjungimų galimybes nurodydama galios srautų paskirstymą ir galimus įtampų kritimus po perjungimo bei tinklo valdymo priemonės.

- Skirstomojo tinklo priežiūros ir valdymo duomenų rinkimas (D-SCADA) – tai ryšių sistemų ir skirstomojo tinklo automatizavimo technologijų diegimas leidžia lanksčiau ir efektyviau išnaudoti dispečerinio valdymo sistemą (DVS), jai teikiant realaus laiko informaciją išlaikant galimybę kaip galima geriau reaguoti į pastoviai kintančią situaciją elektros tinkle, tinkamu laiku nuotoliniu būdu perjungti reikalingus elektros įrengimus gerinant visa skirstomojo tinklo patikimumą ir mažinant įrenginių aptarnavimo kainą bei ilginant jų eksploatavimo laiką.

Šiandiena skirstomųjų tinklų eksploatavimas remiasi nustatytomis procedūromis ir sukaupta įrengimų eksploatavimo patirtimi. Skirstomuosiuose tinkluose taikant šiuolaikiškas paskirstyto valdymo sistemos funkcijas sudaromos palankios sąlygos sudaryti save gydanti tinklą pritaikius šiuos PVS patobulinimus:

- Sumažinti nepateiktos energijos įvykių skaičių ir trukmę pritaikant avarijos vietos nustatymo ir automatinio tinklo perjungimo, izoliuojant pažeistą segmentą, algoritmus;

- Minimizuoti darbinis elektros energijos nuostolius, taikant tobulesnę tinklo ir pastočių priežiūros sistemą;

- Optimizuoti galios srautus naudojant automatinį paskirstytos generacijos valdymą;
- Mažinti elektros įrengimų ir tinklo eksploatacijos kainą diegiant įrengimų priežiūros sistemas realiaame laike.

Paskirstyto valdymo sistemos diegimas elektros skirstomųjų tinklų valdymui yra vienas iš svarbiausių sėkmės veiksnių siekiant ambicingų tikslų kuriant sumanųjį tinklą [9].

Paskirstyto valdymo sistema suteikia galimybę kurti sumanųjį elektros tinklą sutelkiant dėmesį į tinklo automatizavimą, lygių galimybių suteikimą vartotojams, paskirstytos generacijos galių valdymą, efektyviai koordinuoti visų tinklą prižiūrinčių tarnybų bendrą veiklą, subalansuoti aplinkosauginius reikalavimus su elektros energijos vartojimu.

Elektros įrengimų valdymas pagal galios srautų pasikeitimą realiaame laike leistu efektyviau išnaudoti esamą elektros įrangą, gerintu elektros tinklo patikimumą ir užtikrintu darbuotojų ir vartotojų saugumą.

Paskirstyto valdymo sistema sukuria daug naudos verslui ir vartotojams, įskaitant:

- Platesnė informacija apie elektros įrenginių darbą;
- Efektyvesnis elektros vartotojų aptarnavimas;
- Efektyvesnis tinklo aptarnavimas ir priežiūra nei to reikalauja taikomi normatyvai;
- Saugumas;
- Stabilumas;
- Darbo vietų supaprastinimas;
- Supaprastintas aptarnaujančio operatyvinio personalo mokymas.

## 2. METODINĖ DALIS

Šiuo metu Lietuvoje diegiama nauja paskirstyto valdymo sistema PVS (*angl.: distribution management system (DMS)*), kurią panaudojus būtų galima surinkti realaus laiko duomenis apie elektros energetikos skirstomojo tinklo būklę [10]. Gautą informaciją apdoroti ir ją perduoti į dispečerinio valdymo sistemą. Siūloma automatinio linijos gedimo vietos nustatymo, pažeistos vietos izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo sistema būtų diegiamos PVS dalis.

Paskirstyto valdymo sistema yra centralizuota sistema ir apima visą skirstomąjį tinklą. Visa surenkama informacija apie skirstomojo tinklo būklę analizuojama ir apdorojama centralizuotai. Gauti rezultatai perduodami į DVS ir pagal juos skirstomojo tinklo dispečeris priima galutinius tinklo valdymo sprendimus. Siūloma automatikos sistema ALGNIA apima nedidelę PVS funkcijų dalį. Šios sistemos pagalba galima automatizuotai nustatyti gedimo vietą konkrečioje linijoje, avariją izoliuoti bei atstatyti elektros energijos tiekimą avarijos nepažeistų linijos dalių vartotojams [11]. Siūloma automatikos sistema ALGNIA veikia tik konkrečiose linijose. Automatika paleidžiama tik suveikus konkrečios linijos apsaugų terminalui. Linijos IED automatiškai gauna reikiamą informaciją iš PVS apie saugomos linijos būklę, ją apdoroja, automatiškai pagal atitinkamą programą nustato pažeistą linijos sektorių, jį izoliuoja automatiškai išjungdamos atitinkamus pažeisto sektoriaus nuotoliniu būdu valdomus skyriklius. Išsijungus skyrikliams formuojama komanda į gretimos linijos narvelių ALGNIA įrengimus ir taip nepažeisti linijos sektorių vartotojai prijungiami prie kitų, nepažeistų linijų.

ALGNIA iš dalies decentralizuoja PVS darbą apdorodama konkrečios linijos informaciją ir atlikdama iš anksto numatytus automatikos veiksmus: nustatydamas pažeidimo vietą, jį izoliuodama ir atstatydama nepažeistų linijos sektorių maitinimą [12]. Tai autonominė sistema, kuri veikia nepriklausomai nuo žmogaus. Efektyviam siūlomos automatikos sistemos darbui reikalingi kitų linijų narvelių įrengimai.

Taikant siūlomą automatikos sistemą galima greitai ir efektyviai apdoroti mažesnius informacijos srautus, pagreitinti elektros tiekimo atstatymą. Taikant šią automatikos sistemą galima efektyviau organizuoti pažeistų linijos sektorių remontus, sutaupyti eksploatacijos lėšas.

Siūlomi du produktai:

1. Nuotoliniu būdu valdomi linijos skyrikliai ir linijos būklės davikliai surenkantys informaciją apie linijos būklę konkrečiame jos sektoriuje;
2. Automatikos įrenginys linijos gedimo vietos nustatymui, pažeistos vietos izoliavimui ir elektros tiekimo atstatymui ALGNIA.

## 2.1 Automatikos sistema ALGNIA

ALGNIA sistema - tai decentralizuota PVS dalis, kuri savarankiškai surenka informaciją iš linijos būklės daviklių (LBO), valdo linijos nuotoliniu būdu valdomus skyriklius (NBVS), bendraujant su kitų linijų ALGNIA įrengimais ir perduoda visą informaciją į PVS ir DVS bei gauna nurodymus iš jų. Padrindinis sistemos tikslas - automatiškai nustatyti pažeistos linijos gedimo vietą ją izoliuoti su nuotoliniu būdu valdomais skyrikliais (NBVS), kaip galima greičiau atstatyti elektros tiekimą išjungtiems vartotojams.

Automatinės sistemos pagrindiniai privalumai:

1. Automatinė sistema kurios nereikia tiesiogiai valdyti;
2. Autonominė sistema kuri sprendžia konkrečios linijos problemas;
3. Išmani sistema nes dirba su kitomis sistemomis kartu ir padeda joms efektyviai vykdyti savus uždavinius;
4. Tai PVS dalis kurios veikimui reikalingas ribotas informacijos kiekis, tai sumažina automatikos reagavimo laiką ir spartina informacijos apdorojimą.

Trūkumai:

1. Saugo tik konkretų objektą;
2. Apima nedidelę PVS dalį.

Automatinio linijos gedimo vietos nustatymo, pažeistos vietos izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo sistema susideda iš šių pagrindinių penkių dalių:

1. Linijos būklės daviklis;
2. Nuotoliniu būdu valdomas skyriklis (*Recloser*);
3. Automatinio linijos gedimo vietos nustatymo, pažeistos vietos izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo įrengimas (ALGNIA);
4. Ryšio sistema apjungianti šias anksčiau išvardintas dalis;
5. Kompiuterinė programa skirta gautos informacijos iš daviklių ir automatikos prietaisų apdorojimui analizavimui ir atvaizdavimui. Programa papildomai atlieka visos įrangos stebėseną (monitoringą) ir gaunamos bei apdorotos informacijos archyvavimą.

Sistemos taikymas:

- vidutinės įtampos elektros skirstomajam tinklui;
- žemos įtampos vartotojo tinklui;
- mikrotinklams.

Sistema skirta vienam prijunginiui ir apima plačią geografinę teritoriją.

Paskirtis. Avarijos metu linijoje, automatiškai nustatyti pažeistos linijos gedimo vietą, izoliuoti pažeistą linijos segmentą ir atstatyti elektros energijos tiekimą nepažeistai linijos daliai. Greitai reaguoti į avarijas elektros linijoje ir minimizuoti avarijos padarinius bei vartotojų nuostolius.

Surinkti informaciją apie maitinančią liniją. Ją matematiškai apdoroti, pateikti analizavimo rezultatus. Registruoti, linijoje sumontuotų linijos būklės daviklių (LBD) parametrus atlikti jų stebėseną. Automatiškai valdyti nuotoliniu būdu valdomus skyriklius (NBVS) bei atlikti jų stebėseną. Keisti informaciją su kitų linijų narvelių tokio pat tipo įrengimais. Keisti informaciją su skaitmeniniais relinės apsaugos ir automatikos terminalais (IED) Teikti informaciją į dispečerinio valdymo sistema (DVS).

Tikslai:

1. Nustatyti linijos pažeistą sektorių;
2. Izoliuoti pažeistą linijos dalį, atjungiant ją nuo pažeistos linijos sveikų sektorių;
3. Atkurti elektros energijos tiekimą linijos vartotojams esantiems nepažeistose linijos dalyse (linijos sektoriuose);
4. Atiduoti informaciją į PVS apie pasikeitimus linijoje, automatikos veikimą ir atliktus veiksmus, komutacinių aparatų padėtys, atjungtų vartotojų kiekį.

## **2.2 ALGNIA veikimas**

Transformatorinėje pastotėje, maitinančios linijos narvelyje, montuojamas išmanaus tinklo įrengimas ALGNIA. Šis įrengimas surenka informaciją iš linijoje sumontuotų linijos būklės daviklių (LBD). Pagal ją prietaisas nustato linijos pažeistą segmentą. Formuoja ir siunčia nuotoliniu būdu valdomiems skyrikliams (NBVS) valdymo komandas pažeisto linijos sektoriaus izoliavimui ir bendro su rezervine linija nuotoliniu būdu valdomiems sekcijiniams skyrikliams (NBVSS) įjungimui.

Iš šių daviklių surinkti parametrai registruojami prietaiso atmintyje, matematiškai apdorojami ir vertinami. Surinkta daviklių informacija suskirstoma į grupes ir perduodama į dispečerinio valdymo sistemą (DVS).

ALGNIA įrengimas IEC 61850 GOOSE ryšio protokolu susietas su linijos narvelio skaitmeniniu relinės apsaugos ir automatikos terminalu (IED).

Atsiradus gedimui linijoje suveikia linijos narvelio relinė apsauga ir išjungia jungtuvą. Prie šios linijos prijungti vartotojai lieka be elektros energijos maitinimo. Oro ir mišriuose linijose apsaugų terminalas po nustatyto laiko įjungia jungtuvą tai yra daro pirmą automatinį kartotinę įjungimą (AKĮ). Jei pirmas AKĮ yra nesėkmingas narvelio apsaugų terminalas pagreitintai išjungia jungtuvą dar karta. Išsijungus jungtuvui ir linijoje nustojus tekėti avarijos srovei, apsaugų terminalas atlieka antrą AKĮ. Antrosios AKĮ pauzės metu apsaugų terminalas, GOOSE ryšio protokolu arba binariniais išėjimais perduoda komandą į automatikos įrengimą ALGNIA. Gavęs komandą iš apsaugų terminalo apie antrą AKĮ veikimą paleidžia automatikos funkciją. Automatikos prietaisas vertina informaciją gautą iš linijos būklės daviklių ir IED. Pagal apdorotą informaciją, automatikos prietaisas, nustato linijos pažeistą



sektorių. Nustato pažeisto sektoriaus išskirimo NBVS jų kiekį, adresus ir padėtis. Nustačius reikalingus NBVS užmezgamas ryšys su arčiausiai šaltinio esančiu NBVS ir patikrinus skyriklio prijungtą padėti siunčią jam atjungimo komandą. Gavus patvirtinimą, kad pirmas NBVS atjungtas siunčiama komandą į linijos IED apie avarijos izoliavimą. Linijos apsaugų ir automatikos terminalas gavęs informaciją iš ALGNIA įrengimo apie avarijos izoliavimą baigia antrą AKĮ ir įjungia jungtuvą. Esant sėkmingam antram AKĮ atiduodamas signalas į automatikos prietaisą, leidžiantį baigti linijos pažeisto sektoriaus galutinį išskyrimą. Gavęs signalą iš IED apie sėkmingą antro AKĮ veikimą, automatikos prietaisas iš eilės siunčia atjungimo komandas į kitus NBVS, taip galutinai išskirdamas linijos pažeistą sektorių. Komandos siunčiamos kitam NBVS tik tuomet kai gaunamas patvirtinimas apie prieš tai valdyto skyriklio atjungtą padėtį. Galutinai išskyrus avarijos pažeistą linijos segmentą automatikos prietaisas išduoda pranešimą į DVS ir pagal iš anksto numatytą programą siunčia GOOSE ryšio protokolu arba binariniais išėjimais signalą į gretimos linijos automatikos prietaisą pradėti elektros energijos atstatymą, likusios be maitinimo linijos vartotojams. Kitos, bendros linijos automatikos įrengimas vertina savo linijos apkrovą, ir bendrą būklę. Jei nėra priežasčių atstatymo blokavimui, antras automatikos įrengimas užmezgą ryšį su bendru, pažeistos ir sveikos, linijos NBVSS ir esant jo atjungtai padėčiai, siunčiama prijungimo komanda. Sėkmingai prijungus bendrą abejoms linijoms NBVSS, antros linijos automatikos įrengimas siunčia informaciją apie įvykusius tinklo pokyčius į DVS.

Avarijos nepažeistos linijos sekcijos gali būti įjungtos atgal į darbą jas užmaitinant iš kitų linijų narvelių su sąlyga, kad šios rezervinės linijos nebus perkrautos prijungus papildomas sekcijas.

Minėti perjungimai turėtų būti atlikti per mažiausią laiką ir nepažeistoms sugedusios linijos dalims maitinimas atstatytas kaip galima greičiau siekiant minimizuoti nuostolius dėl nepateiktos elektros energijos vartotojams.

Visas ALGNIA 1 linijos IED ir rezervinės linijos ALGNIA 2 ir IED bendras veikimo procesas skaidomas į tris pagrindinius etapus (žr. 2 lentelė):

1. Linijos AKĮ;
2. Pažeistos linijos vietos išskyrimas;
3. Elektros tiekimo atstatymas.

**2 lentelė. Sėkmingi automatikos veikimo etapai**

<b>Etapas</b>	<b>Veikimo seka</b>	<b>Įrengimas</b>	<b>Veiksmai</b>
1	Avarija linijoje L-1	IED1	Linijos išjungimas
	Pirmas AKĮ	IED1	Linijos įjungimas
	Avarija linijoje	IED1	Pagreitintas linijos išjungimas

2	Informacijos apie avarija rinkimas	ALGNIA 1	Linijos NBVS nuskaitymas
	Avarijos vietos nustatymas	ALGNIA 1	Informacijos apdorojimas ir vertinimas
	Avarinio NBVS išjungimas	ALGNIA 1	Komanda išjungti avarijos NBVS
	Antro AKĮ pabaiga	IED1	Linijos įjungimas
	Antro NBVS išjungimas	ALGNIA 1	Komanda išjungti antrą NBVS
	N-tojo NBVS išjungimas	ALGNIA 1	Komanda išjungti N-jį NBVS
3	Signalas į IED2 siuntimas	ALGNIA 1	Siunčiamas signalas į IED2 apie avariją
	Ryšys su bendru NBVSS	ALGNIA 2	Užmezgamas ryšys su bendru NBVGS
	Maitinimo atstatymas	ALGNIA 2	Prijungiamas bendras NBVSS
	Nuostatų grupės keitimas	ALGNIA 2	Pakeičia IED 2 nuostatų grupę

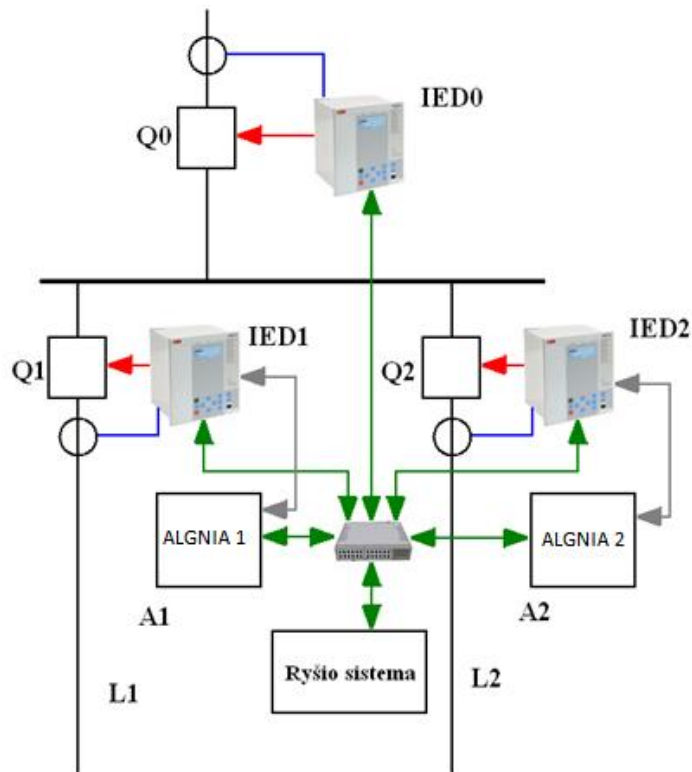
Naujų konfigūracijų kiekis ir prijungiamų sektorių kiekis yra baigtinis skaičius, kurį galima numatyti iš anksto. Atliekant vartotojų maitinimo atstatymą ir su tuo susijusius linijų segmentų skaičiaus pakeitimus būtina atsižvelgti į šias pagrindines tinklo normalaus darbo sąlygas:

- Transformatorių ir linijų srovių reikšmės neviršija leistinas nominalias reikšmes;
- Prijungus naujus segmentus įtampos kritimas išlieka leistinose ribose;
- Išlaikoma radialinė linijos schema;
- Atliekant perjungimus kaip galima mažiau naudojamas elektros komutacinių aparatų junginėjimų skaičius. Sveikos linijos vartotojų maitinimo užtikrinimas turi aukštesnį prioritetą nei papildomai prijungiamų sekcijų vartotojai [13];
- Papildomai atsiradusios nuotėkio srovės neturi maišyti sveikos linijos kompensacinių ričių darbui;
- Privaloma išlaikyti relinės apsaugos selektyvumas [14];
- Relinės apsaugos jautrumas neturi sumažėti prijungus papildomas linijos sekcijas ir būti pakankamai jautri mažiausioms avarijoms iki pat naujai suformuotos linijos galo;
- Elektros energijos kokybės rodikliai (harmonikų lygis; galios koeficientas) privalo tenkinti nustatytus reikalavimus

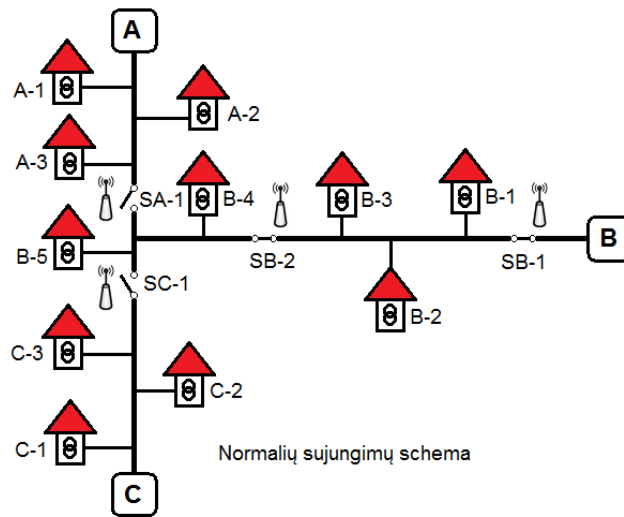
Suveikus automatikai pasikeičia linijų parametrai. Pažeista linija sutrumpėja ir sumažėja jos apkrova. Kita linija perėmusi dalį, pažeistos linijos, apkrovos – prailgėja. Todėl keičiasi jos ne tik ilgis ir apkrovimas, bet ir atsiranda pavojus, įtampos kritimui linijos gale. Pasikeitus linijoms pasikeičia ir apsaugos zona. Prailgėjusios linijos apsaugoms gali reikėti padidinti jautrumą ir išlaikyti selektyvumą.

Problemos, kurios apsunkina tinklo darbą po automatikos veikimo bei pailgėjus rezervuojančiai linijai:

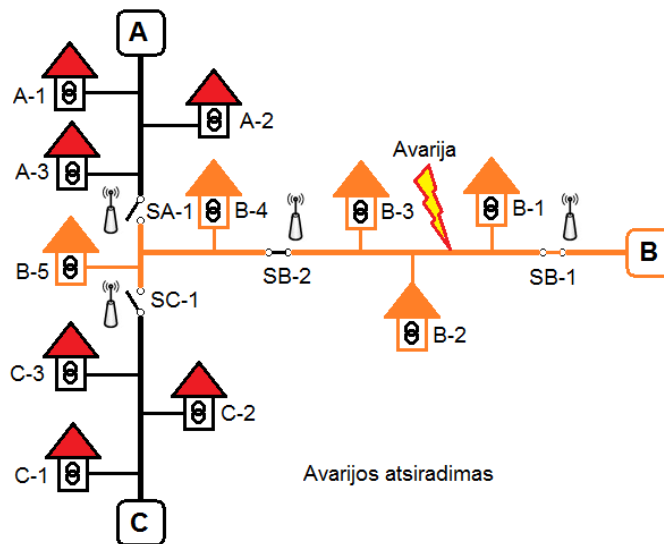
1. Galimas per didelis įtampų kritimas rezervuojamos linijos dalyje;
2. Galimi linijos perkrovimai prijungus daugiau vartotojų [15];
3. Galimas nuotėkio srovių padidėjimas neigiamai veikiantis kompensacinės ritės darbą;
4. Apsaugų nepakankamas jautrumas;
5. Apsaugų nepakankamas selektyvumas.



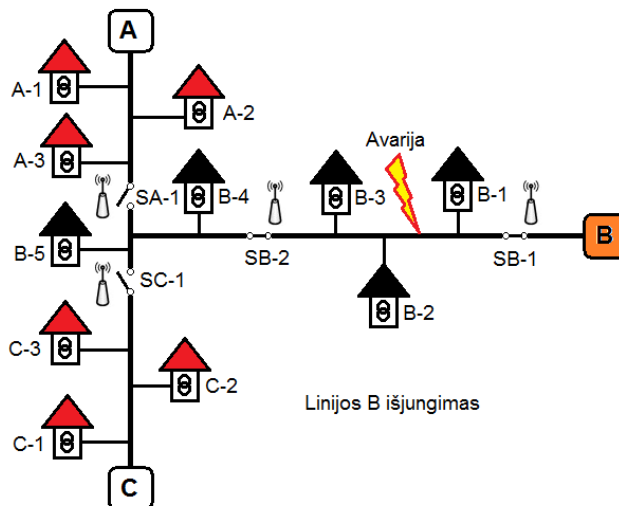
**2 pav.** Automatinio linijos gedimo vietos nustatymo, pažeistos vietos izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo įrenginio pajungimas su ryšio sistema ir RAA terminalais



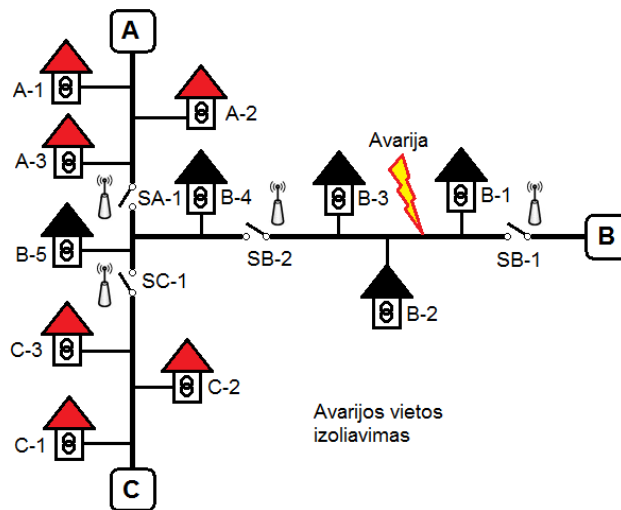
3 pav. Normalių sujungimų schema



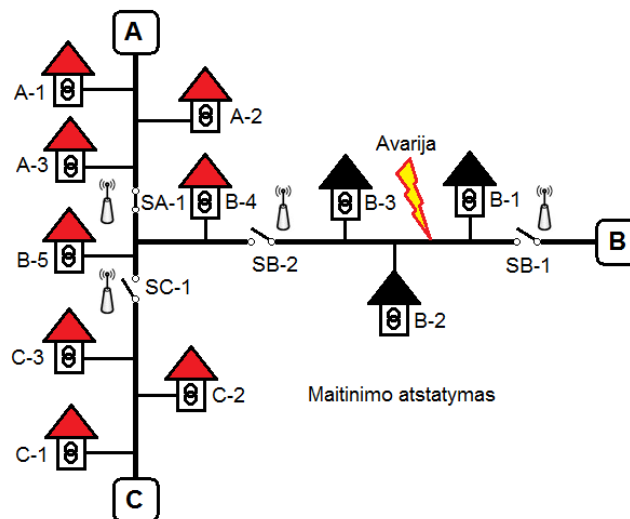
4 pav. Linijos pažeidimo atsiradimas



5 pav. Linijos B išjungimas suveikus relinei apsaugai



**6 pav.** Nuotolinio valdymo linijos skyrikliais izoliuojama avarijos vieta



**7 pav.** Vartotojų B-4 ir B-5 maitinimo atstatymas prijungus SA-1 nuotolinio valdymo linijos skyriklį

### 2.3 Linijos būklės davikliai (LBD)

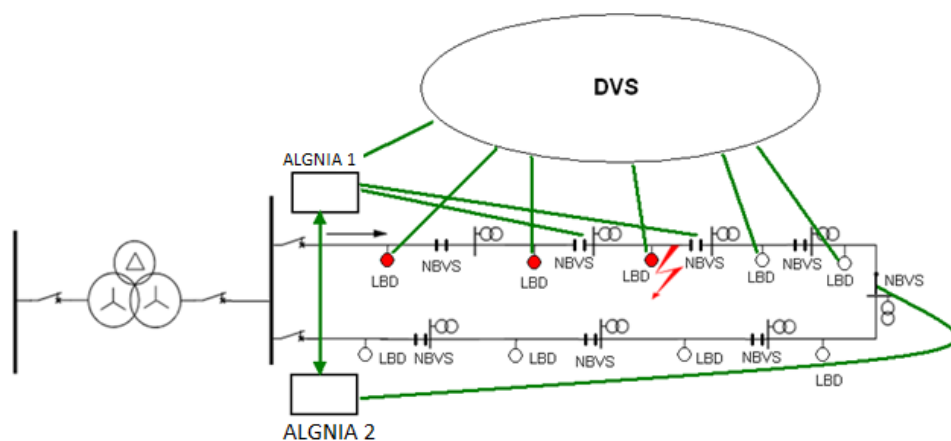
Išnagrinėjus informaciją apie gaminamus linijos būklės daviklius, matosi, kad jų didelės gausos nėra. Tai tikriausiai dėlto, kad šiuo metu nėra didelio jų poreikio. Galima nesunkiai pastebėti ir kai kurias produkto kitimo tendencijas. Keitėsi ne tik veikimo principai, bet ir panaudojimas (žr. 3 letele).

3 lentelė. Esamų linijos būklės daviklių sąrašas

Nr.	Gamintojas	Adresas
1	Norttech	<a href="http://www.nortechonline.co.uk">www.nortechonline.co.uk</a>
2	EATON	<a href="http://www.eaton.com/Eaton/ProductsServices/index.htm">http://www.eaton.com/Eaton/ProductsServices/index.htm</a>
3	Schneider electric	<a href="http://www.schneider-electric.com/ww/en/">http://www.schneider-electric.com/ww/en/</a>
4	H. Horstmann GmbH	<a href="https://www.horstmanngbh.com/products">https://www.horstmanngbh.com/products</a>
5	SEL	<a href="http://www.sel-electric.com/">http://www.sel-electric.com/</a>
6	Nortroll AS	<a href="http://www.nortroll.no">http://www.nortroll.no</a>
7	Sipronika	<a href="http://www.sipronika.si">http://www.sipronika.si</a>
8	ZIV Group	<a href="http://www.zivusa.com">http://www.zivusa.com</a>
9	Ceditnet	<a href="http://www.ceditnet.it">http://www.ceditnet.it</a>
10	Egetronic	<a href="http://www.egetronic.egysun.net/">http://www.egetronic.egysun.net/</a>
11	EMG	<a href="http://www.emg-ger.com">http://www.emg-ger.com</a>
12	Lucy Electric	<a href="http://www.lucyelectric.com/">http://www.lucyelectric.com/</a>
13	General Electric	<a href="http://www.ge.com/industries/power-and-energy/">http://www.ge.com/industries/power-and-energy/</a>
14	Thomas & Betts	<a href="http://www.tnb.ca/">http://www.tnb.ca/</a>
15	Sea-it	<a href="http://www.sae-it.de">www.sae-it.de</a>
16	Vensum	<a href="http://vensum.com/">http://vensum.com/</a>
17	Bowden Bros Ltd	<a href="http://www.bowdenbros.com/products/overhead-line-fault-indicators/">http://www.bowdenbros.com/products/overhead-line-fault-indicators/</a>

Anksčiau davikliai buvo statiniai prietaisai, fiksuojantis linijos būklės parametro pasikeitimą. Pasikeitus linijos parametrai, atsiradus trumpojo jungimo srovei ar dingus įtampei prietaisais užfiksuodavo įvykį uždarydamas kontaktą arba pakeisdamas spalvą. Daviklio pagrindinė užduotis buvo ir yra fiksuoti linijos parametro (srovės, įtampos) pasikeitimą bei indukuoti apie tai. Davikliai turi laiko delsimą, kad būtų galima atvykus vietoje pamatyti jų esamą būseną. Naujos kartos davikliai aprūpinami ryšio priemonėmis, o tai leidžia greitai gauti informaciją apie jų būklės pasikeitimą, nuotoliniu būdu (žr. 8 pav.) [17]. Pritaikius ryšio priemones davikliuose, jie iš pasyvių linijos būklės fiksavimo elementu tampa aktyvus ir tokiu būdu pasikeičia ne tik jų paskirtis, fiksuoti linijų parametru pasikeitimus, į

priemone, kurios pagalba galima dinamiškai vertinti visos elektros perdavimo linijos darbą realiu laiko momentu. Pagrindinis statiško linijos būklės daviklio trūkumas yra tai, kad jis neturi poveikio laiko žymės. Tai yra negalima tiksliai pasakyti, kada suveikė daviklis ir kiek kartu keitėsi linijos parametras. Dinaminiai elektros linijos parametru davikliai gali fiksuoti ne tik parametro pasikeitimo faktą, bet ir jo laiką.



**8 pav.** Principinė valdymo schema

Pradiniame ALGNIA sistemos kūrimo etape numatomi linijos trumpojo jungimo davikliai. Pagrindinė informacija reikalinga sėkmingam ir efektyviam ALGNIA sistemos veikimui yra apie avarijos vietą linijose, todėl didžiausias dėmesys bus skiriamas trumpojo jungimo davikliams reaguojantiems į srovės padidėjimą linijoje.

## 2.4 Techniniai reikalavimai ALGNIA sistemos įdiegimui

Nuotolinio ARI įgyvendinimas galimas tik į tinklo valdymą įdiegus tam tikras priemones. Pirmiausiai būtinos specialios programos, kurios kartu su DVS sistema koordinuotu relinės apsaugos ir nuotoliniu būdu valdomų linijos skyriklių bendrą darbą. Tam reikalingi patikimi ryšį palaikantys įrenginiai galintys surinkti pakankamą informaciją apie tinklo būklę ir jos konfigūraciją. Reikalingos priemonės galinčios surinkti reikiamą pilną informaciją apie kiekvieną linijos segmentą bei jo nuotoliniu mazgų prijunginių įrengimų darbą, būklę ir pagrindinių parametru pasikeitimą. Taip pat sėkmingai nusiųsti reikiamas valdymo komandas reikiamiems komutacijos aparatams.

Pasikeitus tinklo konfigūracijai, siekiant išlaikyti apsaugų selektyvumą, gali reikėti pakeisti relinės apsaugos maksimalios srovės apsaugos nuostatas ir net jos priklausoma darbo charakteristiką [18]. Esant nuostatų keitimo būtinumui, galima pasinaudoti skaitmeninių relinės apsaugos ir automatikos terminalų nuostatų grupėmis.

Svarbu pirmiau pakeisti sveikos linijos relinės apsaugos ir automatikos terminalo nuostatų grupę nei bus prijungtas papildomas linijos segmentas iš pažeistos linijos. Tam, kad būtų užtikrintas teisingas nuotolinės ARĮ darbas, bendrą pažeistos ir sveikos linijos nuotoliniu būdu valdomą skyriklį valdo (išsiunčia prijungimo komandą) sveikos linijos relinės apsaugos ir automatikos terminalas.

Visų pirma tai yra labai svarbu užtikrinti, kad naujos linijos prisijungusios papildomą pažeistos linijos segmentą maksimalios srovės apsaugos poveikio srovė būtų didesnė nei naujai susidariusios linijos maksimali darbo srovė. Naujai prie linijos prijungtų segmentų apkrovos srovės negali paleisti MSA funkcijos. Prijungus papildomas sekcijas iš pažeistos linijos, sveikos linijos relinės apsaugos ir automatikos terminalo apsaugos zona prasiplečia, todėl apsauga turi vertinti jautrumo sumažėjimo galimybę. Jei naujos konfigūracijos linijos apsaugos jautrumas netenkina keliamų reikalavimų turi įsijungti jautrumą gerinančios priemonės.

**Maksimalios srovės apsauga taikant kelias nuostatų grupes.** Šiuolaikiniai skaitmeniniai relinės apsaugos ir automatikos terminalai turi kelias (kai kurių gamintojų net iki 8 nuostatų grupių. Taigi kiekvienam atvejui galima priskirti atitinkamą nuostatų grupę. Priklausomai nuo avarijos vietos bus pasirenkama reikiama nuostatų grupė. Kai tiksliai nustatoma pažeista linijos dalis, tampa aišku į kokią nuostatų grupę teks taikyti sveikos linijos narvelio apsaugų terminale.

**Apsaugos zonos.** Automatiškai keičiant tinklo schemas keičiasi, maitinančių šaltinių galingumai, linijų ilgiai ir taip pat relinių apsaugų saugojimo zonos. Jei kietai nustatysime pagrindinių maitinančių narvelių apsaugų terminalų parametrus tokius kaip poveikio srovė ir apsaugos poveikio laikas, tai pasikeitus tinklo konfigūracijai gali sutrikti apsaugų selektyvumas ir prailgėjus linijai bei padidėjus apkrovoms, pablogėti apsaugos jautrumas. Pasikeitus relinės apsaugos veikimo zonai galimos dvi pagrindinės problemos:

2. Apsaugų selektyvumo praradimas;
3. Relinės apsaugos jautrumo sumažėjimas.

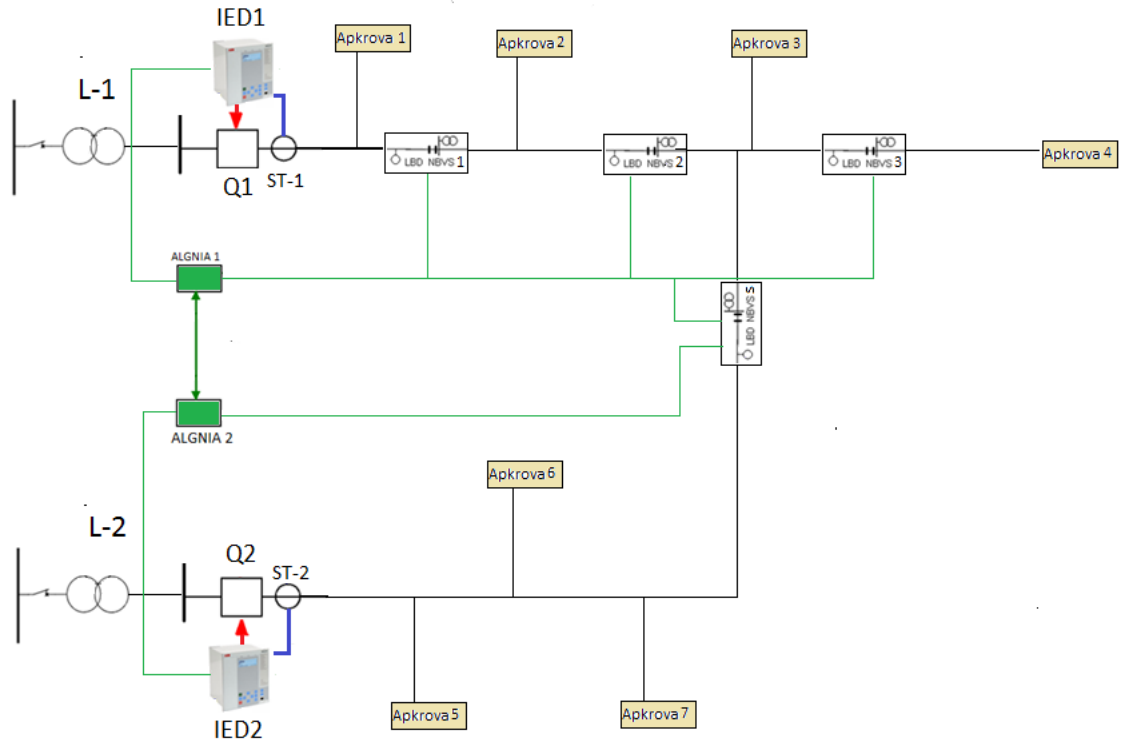
**Apsaugų selektyvumo praradimas.** Naujai susidariusios linijos maitinančio narvelio relinės apsaugos selektyvumas gali būti pažeistas, jei relinės apsaugos maksimalios srovės apsaugos darbo charakteristika kertasi su naujai prijungtos dalies didžiausio nominalo saugiklio charakteristika.



### 3. ALGNIA SISTEMOS TYRIMAS

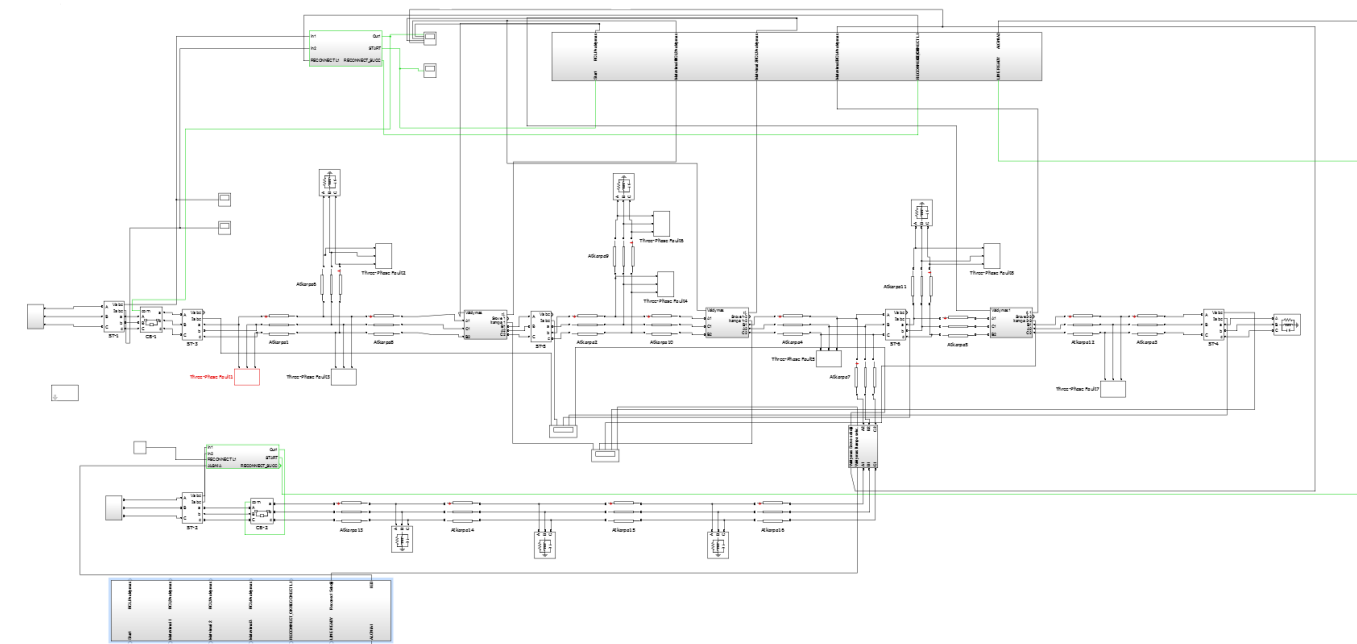
#### 3.1 ALGNIA sistemos modelio struktūra

ALGNIA sistemos principinė schema pateikiama 9 –ajame paveiksle. Sistemos veikimo įvertinimui pasirenkama tipinė dviejų linijų L-1 ir L-2 schema su galimybe atlikti pirmosios linijos rezervavimą.



9 pav. ALGNIA sistemos principinė schema

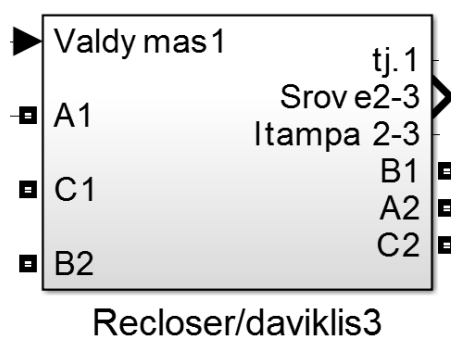
Šios ALGNIA sistemos modeliavimui ir testavimui naudojamas Matlab programinis paketas, Simulink aplikacija. Tiriamosios ALGNIA sistemos modelio schema Matlab progromoje pateikiama 10 paveiksle.



**10 pav.** ALGNIA sistemos modelio schema Matlab progromoje

ALGNIA sistemą sudaro:

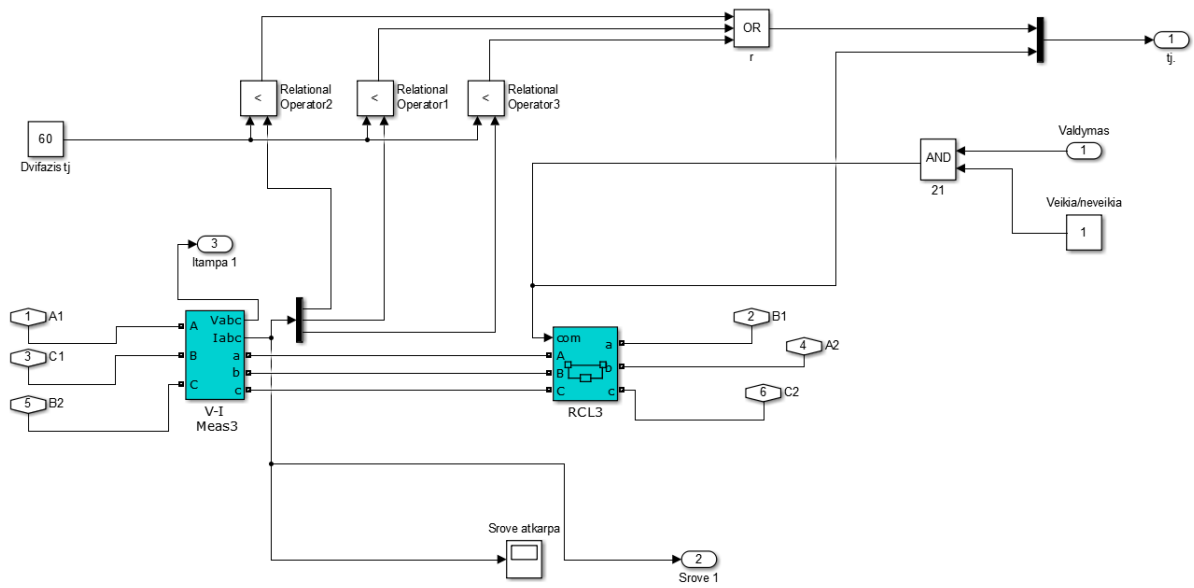
1. Dvi 10 kV **oro linijos L-1 ir L2**. Viena iš linijų (L-2) atlieka rezervuojančios linijos vaidmenį, kita linija (L-1) laikoma pagrindinė, kuri suskaidyta į keturias pagrindines atkarpas su papildomomis atšakomis link apkrovų. Apkrovos siekia nuo 100 – 150 kW (žr. 9 pav);
2. Atkarpų išskyrimui naudojami trys **nuotoliniu būdu valdomi skyrikliai** (Recloser, NBVS) bei vienas sekcijinis skyriklis (NBVSS), kuris normaliai būna išjungtas. Kadangi skyrikliai ir **linijos būklės davikliai** (LBOD privalo būti montuojami greta, todėl Matlab progromoje jie atvaizduojami, kaip vienas įrenginys. Bedroji NBVS ir LBD schema atvaizduojama 11 paveiksle, o vidinės logikos grafinė dalis pateikiama 12 paveiksle.



**11 pav.** Bedroji NBVS ir LBD principinė schema

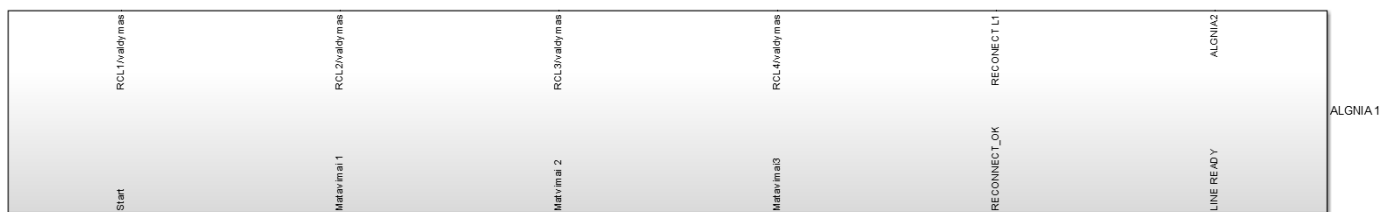
Pagrindinė linijos būklės daviklių funkcija – indikacinė, greitai ir patikimai reaguoti į tinklo srovės pokyčius. Jeigu pratekančios srovės vertė linijoje pasiekia avarinio režimo vertę, tada LBD formuoja signalą apie įvykusį trumpąjį jungimą ir perduoda informaciją ALGNIA įrenginiui.

Nuotoliniu būdu valdomas daviklis atlieka komutacinę funkciją. Ryšio pagalba priima įjungimo ir išjungimo komandą iš ALGNIA įrenginio, taip pat perduoda informaciją apie komutacinio aparato padėtį.

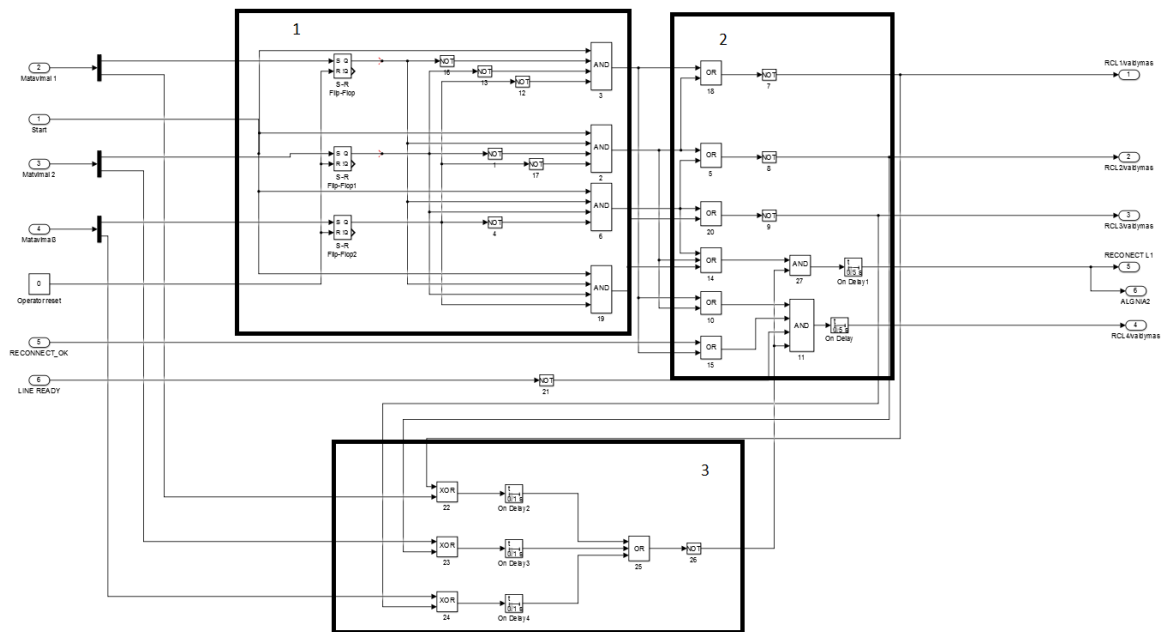


12 pav. NBVS ir LBD vidinės logikos schema

Nuotoliniu būdu valdomų skyriklių ir linijos būklės daviklių valdymui ir koordinavimui bei linijos gedimo vietos nustatymui, pažeistos vietos izoliavimui ir elektros tiekimo atstatymui įdiegiamas **ALGNIA įrenginys** (žr. 13 pav. ir 14 pav.).



13 pav. Principinė ALGNIA 1 įrenginio schema

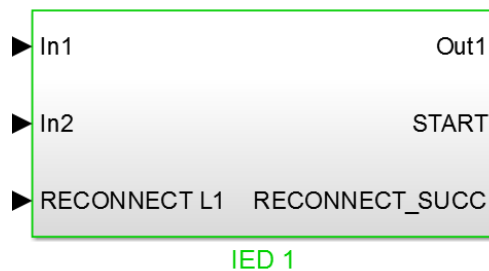


14 pav. Vidinė ALGNIA įrenginio veikimo logika

Detalizuojant ALGNIA įrenginio veikimo algoritmą galime išskirti tris pagrindinius vidinės logikos mechanizmus:

1. Avarijos vietos atpažinimo mechanizmą, kuris apdoroja gautą informaciją iš LBD ir įvertina trumpojo jungimo vietą.
2. Tolimesnių veiksmų mechanizmą. Vadovaujantis šia logika priimami sprendimai dėl tolimesnės NBVS valdymo sekos.
3. Trečiasis mechanizmas atsakingas už grįžtamojo ryšio koordinavimą, NBVS skyriklių ir LBD sveikumo kontrolę.

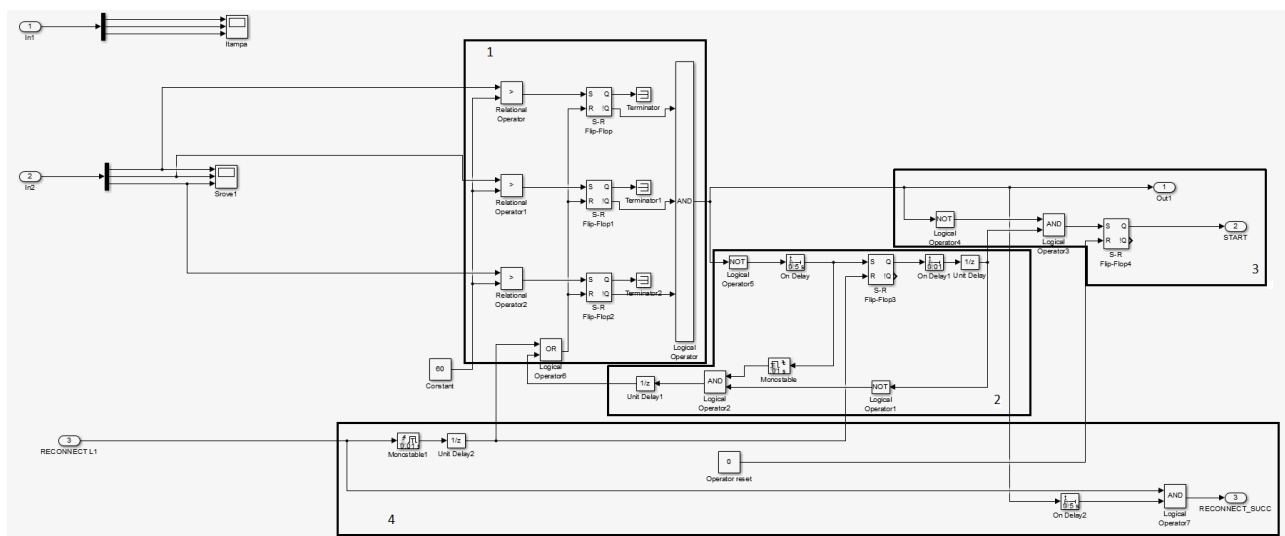
Taip pat kiekviena oro linija turi savo relinių apsaugų terminalus (*IED*). Šių įrenginių pagrindinis tikslas, atpažinti galimus avarinius režimus, vykdyti automatinio kartotinio įjungimo komandas, valdyti jungtuvą, priimti ir perduoti informaciją į ALGNIA įrenginį. Principinė schema Matlab aplinkoje pateikiama 15 pav.



15 pav. IED schema

Analizuojant *IED* vidinę logiką galimą išskirti 4 esminius veikimo mechanizmus (16 pav.):

1. Pirmasis veikimo mechanizmas skirtas avarinio režimo atpažinimui ir jungtuvo išjungimui;
2. Antrasis logikos mechanizmas atlieka automatinio kartotinio įjungimo funkciją;
3. Trečioji logikos dalis, po nesėkmingo pirmojo AKĮ formuoja paleidimo signalą į ALGNIA įrenginį, kad pastarasis pradėtų linijos gedimo vietos nustatymo veiksmus;
4. Ketvirtasis logikos mechanizmas priėmęs signalą iš ALNIA įrenginio apie sėkmingą avarijos vietos izoliavimą, vykdo antrąjį automatinį kartotinį įjungimą, taip sėkmingai atkurdamas elektros energijos tiekimą likusiems vartotojams.



16 pav. Vidinė IED logika

### Veikimo koncepsija

ALGNIA sistemos veikimas paremtas srovės ir įtampos matavimo skirtingose linijos taškuose. Matuojamieji taškai parenkami pagal tinklo topologiją. Sistema skirta vienam prijunginiui ir apima plačią geografinę teritoriją. Pagrindinė sistemos paskirtis avarijos metu linijoje, automatiškai nustatyti pažeistos linijos gedimo vietą, izoliuoti pažeistą linijos segmentą ir atstatyti elektros energijos tiekimą nepažeistai linijos daliai. Greitai reaguoti į avarijas elektros linijoje ir minimizuoti avarijos padarinius bei vartotojų nuostolius. Surinkti informaciją apie maitinančią liniją. Ją matematiškai apdoroti, pateikti

analizavimo rezultatus. Registruoti, linijoje sumontuotų linijos būklės daviklių (LBD) parametrus atlikti jų stebėseną. Automatiškai valdyti nuotoliniu būdu valdomus skyriklius (NBVS) bei atlikti jų stebėseną. Keistis informacija su kitų linijų narvelių tokio pat tipo įrengimais. Keistis informacija su skaitmeniniais relinės apsaugos ir automatikos terminalais (IED). Teikti informaciją į dispečerinio valdymo sistema (DVS).

Sistemos veikimo tikslai:

1. Nustatyti linijos pažeistą sektorių;
2. Izoliuoti pažeistą linijos dalį, atjungiant ją nuo pažeistos linijos sveikų sektorių;
3. Atkurti elektros energijos tiekimą linijos vartotojams esantiems nepažeistose linijos dalyse (linijos sektoriuose);
4. Atiduoti informaciją į DVS apie pasikeitimus linijoje, automatikos veikimą ir atliktus veiksmus.

### **3.2 Tyrimo tikslai**

Siekiant ALGNIA sistemos įdiegimo į realią elektros sistemą, pirmiausia privalomas algoritmo sukūrimas, kuris leistų atpažinti visus avarinius režimus modeliuojamame tinkle. Todėl ALGNIA sistemos testavimo metu didžiausias dėmesys skiriamas sistemos veikimo galimybių įvertinimui, esant įvairiems nenormaliems darbo režimams:

1. Trifaziams trumpiesiems jungimams skirtingose linijų atkarpose;
2. Dvifaziams trumpiesiems jungimams skirtingose linijų atkarpose;
3. Trifaziams trumpiesiems skirtingose linijų atšakose;
4. Ryšio praradimas su vienu iš NBVS.

Remiantis tuo, kad automatinė linijos gedimo vietos nustatymo, pažeistos vietos izoliavimo ir elektros tiekimo atstatymo sistema privalo veikti savarankiškai ir greitai, todėl sistemos veikimas modeliuojamas iki 3s. Siekiant iširti sistemos veikimo galimybes, imituojamos realios sistemos veikimo sąlygos. Apibendrinta modeliavimo seka:

1. 0,1-ąją sekundę, imituojamas avarinis režimas pasirinktoje sistemos vietoje;
2. Įvykus avarijai tinkle suveikia relinės apsaugos ir automatikos įrenginys (IED);
3. IED atpažinus avariją išjungiamas jungtuvas bei paleidžiama AKĮ pauzė, kuri tęsiasi 0,5 sekundės;
4. Pauzei pasibaigus IED įrenginys bando pakartotinai įjungti jungtuvą, tačiau tinkle vis dar esant avarijai, vykdomas apsaugos greitinimos ir jungtuvas išjungiamas be laiko išlaikymo bei paleidžiamas ALGNIA įrenginys;

5. ALGNIA įrenginys, pradeda tinkle esančios avarijos atpažinimą, jos likvidavimą bei energijos tiekimo atstymo veiksmus;
6. Remiantis gauta informacija iš LBD apie avarijos vietą ALGNIA įrenginys priima tolimesnius su sistemos veikimu susijusius veiksmus:
  - 6.1. Išjungia arčiausiai avarijos vietos esančius nuotoliniu būdu valdomus skyriklius;
  - 6.2 Perduoda informaciją į IED įrenginį apie sėkmingai izoliuotą avariją bei perduoda leidimą antrojo AKĮ užbaigimui;
  - 6.3 Atkuria elektros energijos tiekimą vartotojams, įjungdamas nuotoliniu būdu valdomą sekcijinį skyriklį;
  - 6.4. Įvykus nesėkmingam avarijos vietos izoliavimui ar įvykus ryšio gedimui linijoje, ALGNIA elektros energijos atkūrimo algoritmas blokuojamas bei tinklo valdymo kontrolė perduoda į dispečerinio valdymo sistemą, kur tolimesnius veiksmus atlieka ir tinklo būklę vertina dispečerinio valdymo inžinieriai.

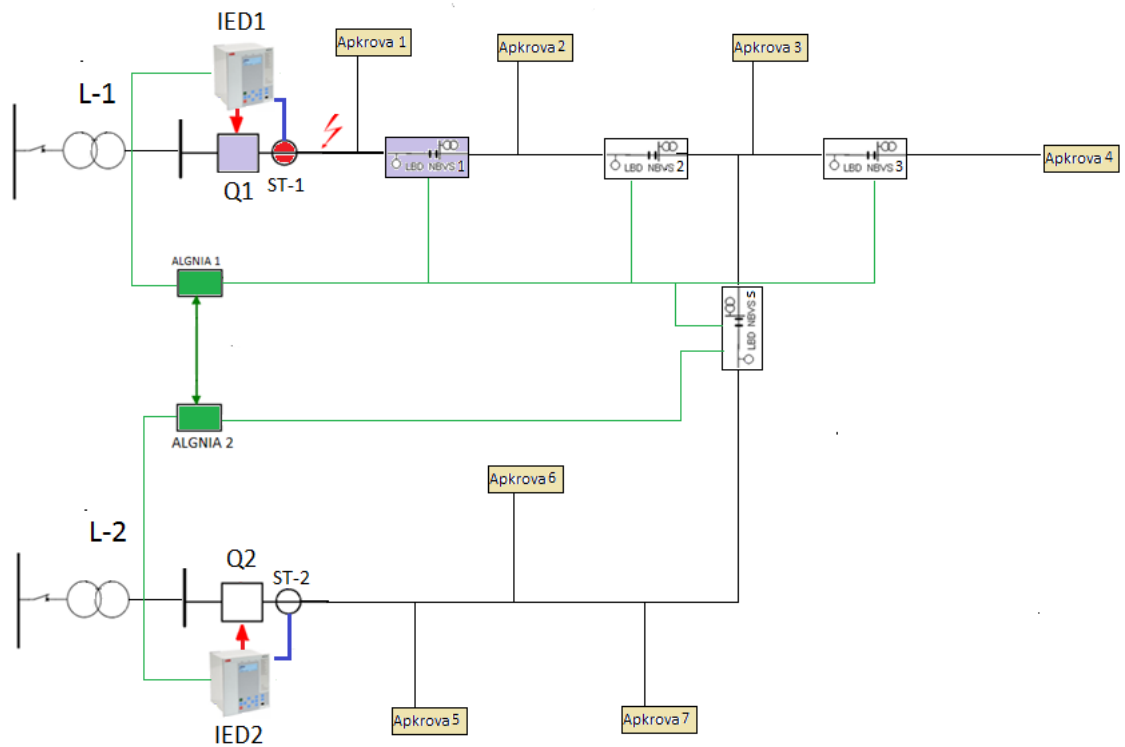
### **3.3 Trumpųjų jungimų atpažinimas linijoje**

#### **3.3.1 Trifazių trumpųjų jungimų atpažinimas pirmojoje linijos atkarpoje**

Pirmasis avarinis režimas tiriamas, kai pirmoje linijos L-1 atkarpoje įvyksta trifazis trumpasis jungimas. Pirmoji atkarpa apima linijos ruožą nuo jungtuvo (Q1) iki pirmojo nuotoliniu būdu valdomo skyriklio (NBVS1) (žr. 17 pav.). Šios avarijos atveju atkarpa izoliuojama išjungiant minėtuosius komutacinius aparatus, dėl to apkrovai (Apkrova 1) nutraukiamas elektros energijos tiekimas. Toliau pateikiamas detalus sistemos veikimas.

0,1-ąją sekundę, imituojamas avarinis režimas minėtoje linijos vietoje. Įvykus avarijai tinkle suveikia relinės apsaugos ir automatikos įrenginys (IED). IED atpažinus avariją išjungiamas jungtuvas (Q1) bei paleidžiama AKĮ pauzė, kuri tęsiasi 0,5 sekundės. Pauzei pasibaigus IED įrenginys bando pakartotinai įjungti jungtuvą, tačiau tinkle vis dar esant avarijai, vykdomas apsaugos greitinimas ir jungtuvas išjungiamas be laiko išlaikymo. Relinių apsaugų terminalas 0,61 – ąją sekundę perduoda signalą į ALGNIA įrenginį apie nesėkmingą AKĮ veikimą. Įrenginys gavęs paleidimo komandą nedelsiant pradeda informacijos surinkimą iš linijos būklės daviklių, taip įvertindamas avarinio režimo vietą.

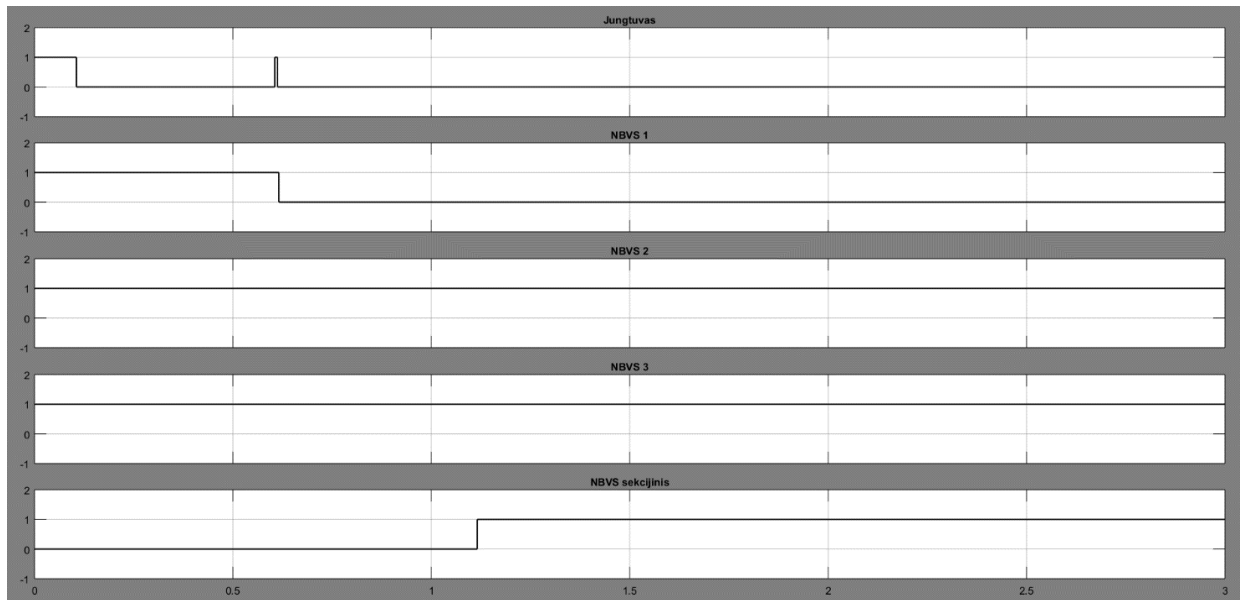
Kadangi skirstomasis tinklas pasižymi radialine tinklo schema, todėl trumpojo jungimo srovės tekėjimo kryptis visada yra žinoma, pagal tai galime nustatyti, kurioje atkarpoje įvyko avarinis režimas.



**17 pav.** Principė ALGNIA sistemos schema, kai avarija imituojama atkarpoje Q1-NBVS1

Minėtuojū atveju, srovė teka į trumpojo jungimo vietą, tad srovė prateka tik pro linijos srovės transformatorių (ST-1), bet neprateka pro nuotoliniu būdu valdomus skyriklius. Tad pagal surinkta informaciją ALGNIA 1 įrenginys įvertina, kad trumpasis jungimas įvyko pirmajame ruože (Jungtuvas - NBVS1), todėl siekiant avarijos vietos izoliavimo, arčiausiai avarijos vietos esantys komutaciniai aparatai privalo būti išjungiami, taip išsvendant avarinį ruožą. Šiuo atveju tai jungtuvas ir NBVS1. Atsižvelgiant į tai, kad jungtuvas jau būna išjungtas, todėl 0,61 sekundę ALGNIA 1 įrenginiui lieka išjungti tik NBVS1 (žr.18 pav.).





**18 pav.** ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija pirmoje atkarpoje

Išvedus avarijos vietoje ruožą pradedamas energijos tiekimo atstatymas. Pirmasis ALGNIA 1 įrenginys perduoda informaciją į ALGNIA 2 įrenginį apie įvykusius pirmosios linijos pokyčius. Kadangi sekcijinį NBVS gali įjungti tik ALGNIA 2 įrenginys, gavęs IED 2 leidimą dėl papildomos papildomos apkrovos prijungimo. Šiuo atveju 1,1-ąją sekundę ALGNIA 2 įrenginys prijungia sekcijinį NBVS bei atkuria pirmosios linijos elektros energijos tiekimą likusiems vartotojams (žr. 19 pav. ir 20 pav).



**19 pav.** Srovės tekėjimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas pirmoje atkarpoje

Pagal gautus simuliacijos rezultatus matome, kad įtampos kritimi antrojoje linijoje (L-2) yra 0,3 kV, bei neviršija leistinų ribų, o elektros energijos tiekimas sėkmingai atkuriamas, todėl galima teigti, kad įvykus trifaziam trumpajam jungimui pirmajame ruože ALGNIA sistema susitvarko su keliamomis užduotimis ir suveikia teisingai (žr. 20 pav.).



**20 pav.** Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas pirmoje atkarpoje

Apibendrinti simuliacijos rezultatai pateikiami 4-oje lentelėje. Jungtuvo ir nuotoliniu būdu valdomų skyriklių padėtys, laiko atžvilgiu atvaizduojamos 1 ar 0. 1- reiškia įjungtą komutacinio aparato padėtį, išjungtą padėtį apibrėžia 0. Taip pat pateikiamos srovių bei fazinių įtampų vertės laiko atžvilgiu (žr. 4 lentelė).

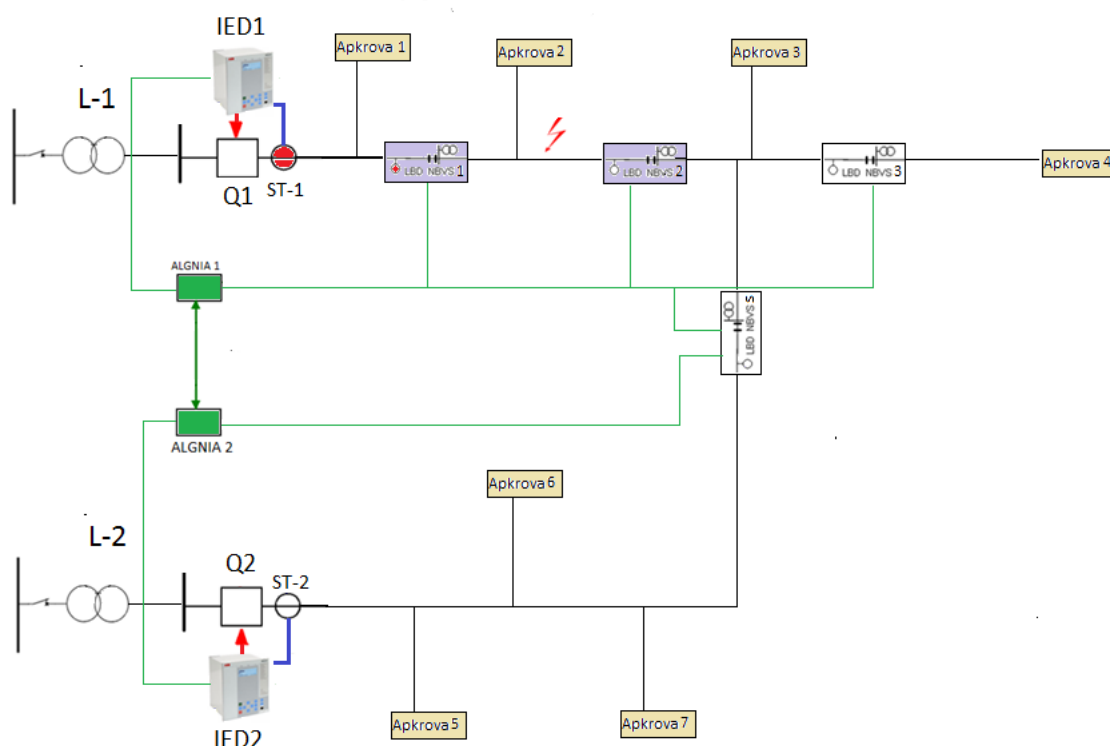
**4 lentelė.** Modeliavimo rezultatai, kai trifazis trumpas jungimas pirmoje atkarpoje

Laikas	0s	0,1s (t.j)	0,11	0,6s (AKI)	0,61s	1,1s	2,1s	2,5s
<b>Atkarpa Jungtuvas-NBVS1</b>								
Jungt. pad(1/0)	1	1	0	1	0	0	0	0
NBVS1(1/0)	1	1	1	1	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	0	0	0
Srovė, A	22	82	0	82	0	0	0	0
<b>Atkarpa NBVS1-NBVS2</b>								
NBVS2(1/0)	1	1	1	1	1	1	1	1
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	5,7	5,7	5,7
Srovė, A	16	16	0	0	0	5	5	5
<b>Atkarpa NBVS2-NBVS3</b>								
NBVS3(1/0)	1	1	1	1	1	1	1	1
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	5,5	5,5	5,5
Srovė, A	7	7	0	0	0	8	8	8
<b>Atkarpa NBVS3-Pabaiga</b>								
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	5,5	5,5	5,5
Srovė, A	6	6	0	0	0	8	8	8

<b>Sekcijinis NBVS(0/1)</b>	0	0	0	0	0	1	1	1
Įtampa, kV	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,5	5,5	5,5
Srovė, A	0	0	0	0	0	20	20	20

### 3.3.2 Trifazių trumpųjų jungimų atpažinimas antrojoje linijos atkarpoje

Antrasis avarinis režimas tiriamas, kai antrojoje linijos L-1 atkarpoje įvyksta trifazis trumpasis jungimas. Antroji atkarpa apima linijos ruožą nuo pirmojo iki antrojo nuotoliniu būdu valdomo skyrikliaus (NBVS1 – NBVS2). Šios avarijos atveju atkarpa izoliuojama išjungiant minėtuosius komutacinius aparatus, dėl to antrajai apkrovai (Apkrova 2) nutraukiamas elektros energijos tiekimas. Toliau pateikiamas detalus sistemos veikimas. 21-ajame paveiksle pateikiama principinė trumpojo jungimo vietos schema.

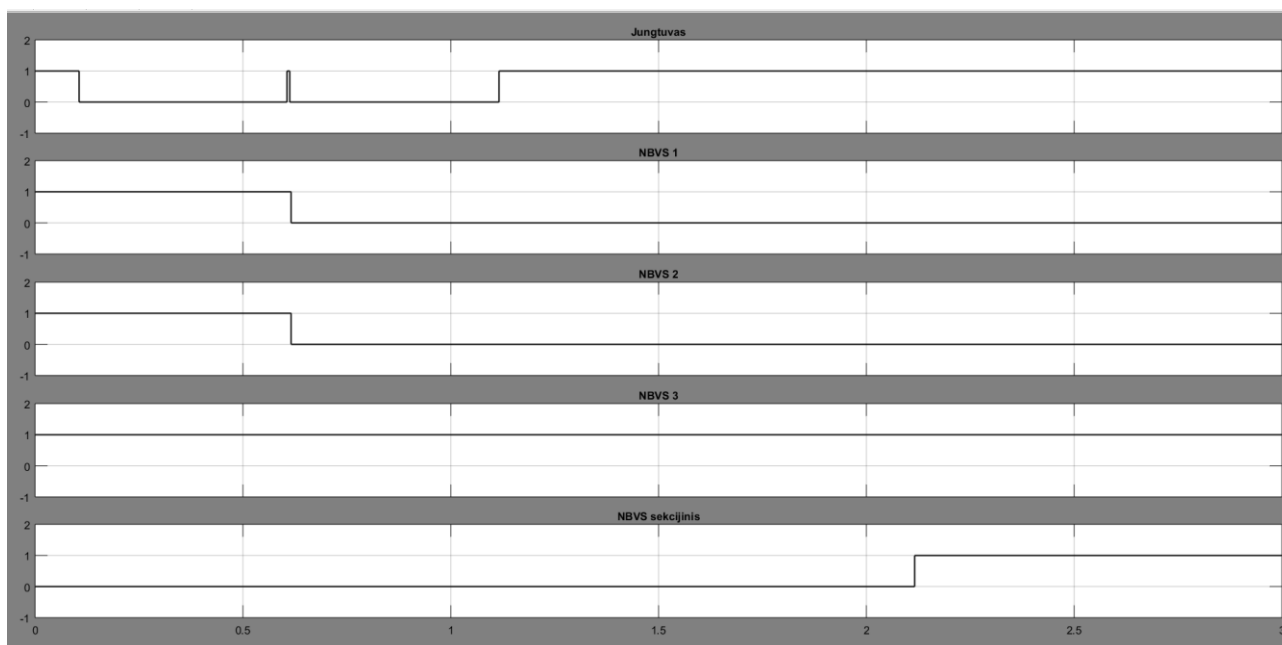


21 pav. Principė ALGNIA sistemos schema, kai avarija imituojama atkarpoje NBVS1- NBVS2

**Detalus sistemos veikimas.** 0,1-ąją sekundę, imituojamas avarinis režimas pasirinktoje sistemos vietoje. Įvykus avarijai tinkle suveikia relinės apsaugos ir automatikos įrenginys (IED). IED atpažinus avariją išjungiamas jungtuvas (Q1) bei paleidžiama AKI pauzė, kuri tęsiasi 0,5 sekundės. Pauzei pasibaigus IED įrenginys bando pakartotinai įjungti jungtuvą, tačiau tinkle vis dar esant avarijai, vykdomas apsaugos greitinimas ir jungtuvas išjungiamas be laiko išlaikymo. Relinių apsaugų terminalas

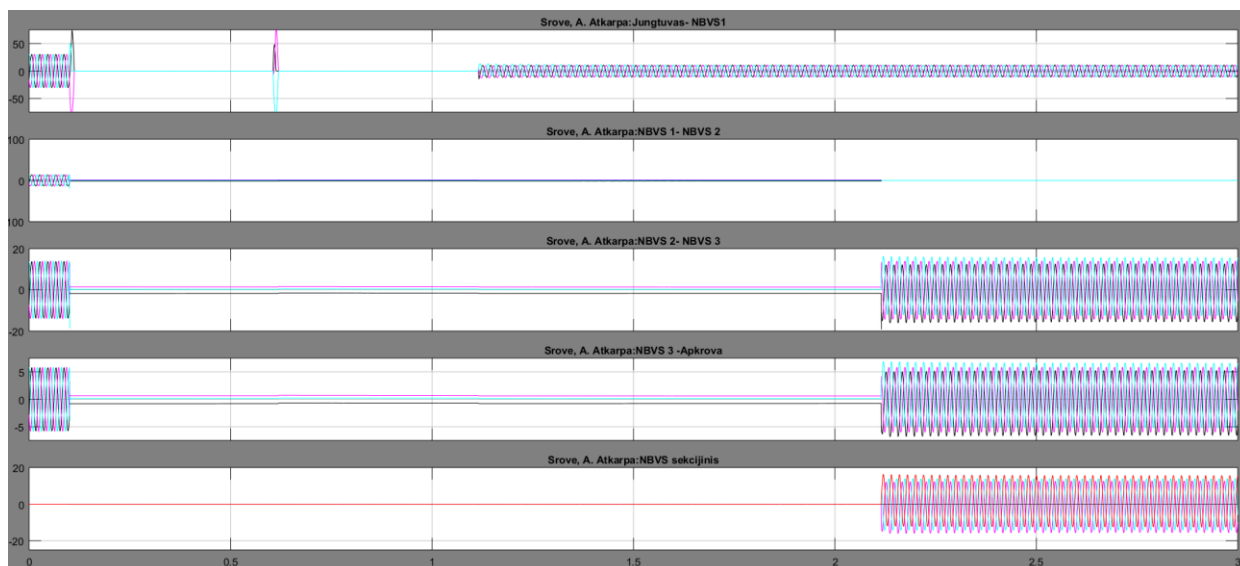
0,61 – ają sekundę perduoda signalą į ALGNIA įrenginį apie nesėkmingą AKĮ veikimą. Įrenginys gavęs paleidimo komandą nedelsiant pradeda informacijos surinkimą iš linijos būklės daviklių, taip įvertindamas avarinio režimo vietą ALGNIA įrenginys gavęs paleidimo komandą nedelsiant pradeda informacijos surinkimą iš linijos būklės daviklių, taip įvertindamas avarinio režimo vietą.

Šiuo atveju srovė taip pat teka į trumpojo jungimo vietą, tad srovė prateka pro linijos srovės transformatorių bei pro pirmąjį linijos būklės daviklį (LBD1). Tad pagal surinktą informaciją ALGNIA 1 įrenginys įvertina, kad trumpasis jungimas įvyko antrajame ruože, todėl pradedamas avarijos vietos izoliavimas. Šiuo atveju ALGNIA įrenginys priima sprendimą, kad privaloma išjungti NBVS1 ir NBVS2, todėl 0,61 sekundę išjungiami nuotoliniu būdu valdomi skyrikliai, taip lokalizuojant avarijos vietą. (žr. 22 pav.).

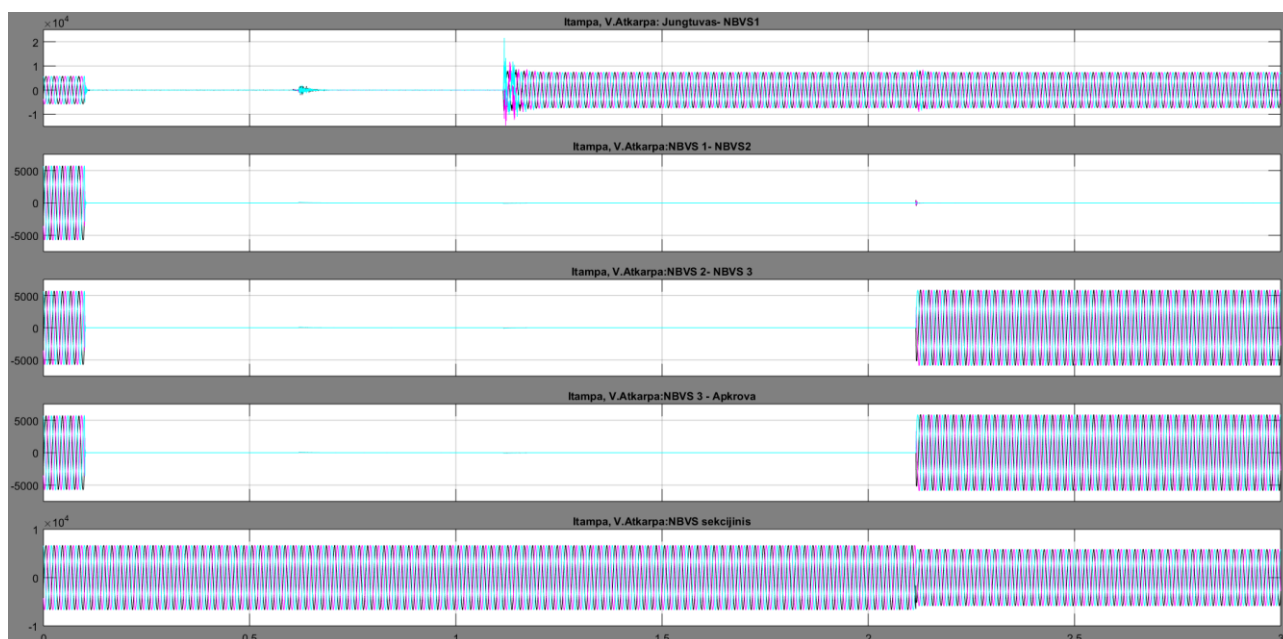


**22 pav.** ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija antroje atkarpoje

Išvedus avarijos vietos ruožą pradedamas energijos tiekimo atstatymas. ALGNIA 1 įrenginys perduoda informaciją į pirmosios linijos IED apie sėkmingą avarijos vietos išskyrimą bei perduoda signalą antrojo AKĮ užbaigimui. Tokiu būdu 1,1-ąją sekundę pakartotinai įjungiamas jungtuvas ir atstatomas elektros energijos tiekimas pirmajame linijos ruože. Trečiojo ir ketvirtojo ruožo elektros energijos tiekimo atkūrimui įjungiamas sekcijinis, nuotoliniu būdu valdomas skyriklis, tačiau prieš tai gaunamas IED 2 leidimas dėl papildomos papildomos apkrovos prijungimo. Šiuo atveju 2,1-ąją sekundę ALGNIA 2 įrenginys prijungia sekcijinį NBVS bei atkuria pirmosios linijos elektros energijos tiekimą trečiajam ir ketvirtajam ruožui (žr. 23 pav. ir 24 pav.).



**23 pav.** Srovės tekėjimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas antrojoje atkarpoje



**24 pav.** Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas antrojoje atkarpoje

Pagal gautus simuliacijos rezultatus matyti, kad įtampos kritimi antrojoje linijoje (L-2) yra 0,3 kV, bei neviršija leistinų ribų, o elektros energijos tiekimas sėkmingai atkuriamas, todėl galime teigti, kad įvykus avarijai antrajame ruože ALGNIA sistema susitvarko su keliamomis užduotimis bei suveikia teisingai. Apibendrinto modeliavimo atvejo rezultatai pateikiami 5 lentelėje.

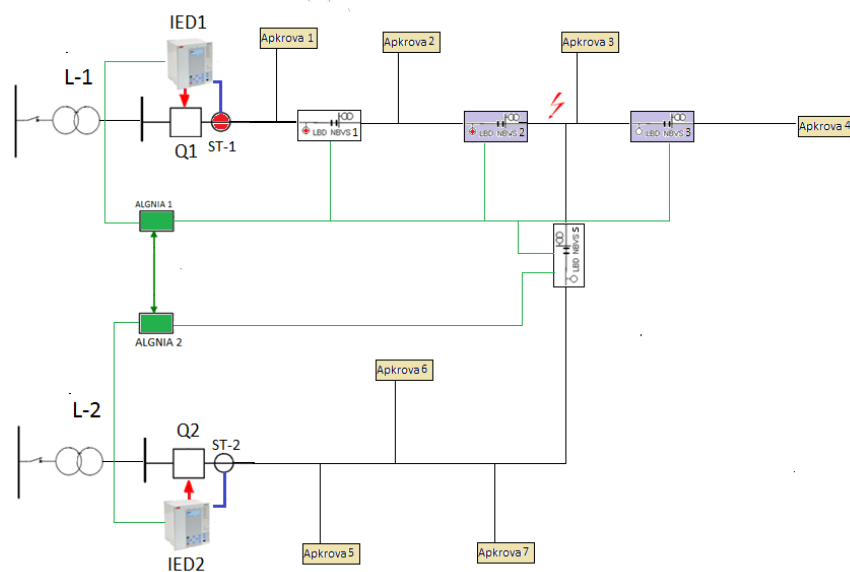
**5 lentelė.** Modeliavimo rezultatai, kai trifazis trumpas jungimas antrojoje atkarpoje

Laikas	0s	0,1s (t,j)	0,11	0,6s (AKI)	0,61s	1,1s	2,1s	2,5s
<b>Atkarpa Jungtuvas-NBVS1</b>								
Jungt. pad(1/0)	1	1	0	1	0	1	1	1

NBVS1(1/0)	1	1	1	0	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,77	5,77	0	0	0	6	6	6
Srovė, A	25	75	0	0	0	15	15	15
<b>Atkarpa NBVS1-NBVS2</b>								
NBVS2(1/0)	1	1	1	0	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,77	5,77	0	0	0	0	0	0
Srovė, A	14	14	0	0	0	0	0	0
<b>Atkarpa NBVS2-NBVS3</b>								
NBVS3(1/0)	1	1	1	1	1	1	1	1
Įtampa, kV	5,77	5,77	0	0	0	0	5,6	5,6
Srovė, A	14	14	0	0	0	0	14,1	14,1
<b>Atkarpa NBVS3-Pabaiga</b>								
Įtampa, kV	5,77	5,77	0	0	0	0	5,6	5,6
Srovė, A	5,1	5,1	0	0	0	0	5,1	5,1
<b>Sekcijinis NBVS(0/1)</b>	0	0	0	0	0	0	1	1
Įtampa, kV	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,6	5,6
Srovė, A	0	0	0	0	0	0	19,2	19,2

### 3.3.3 Trifazių trumpųjų jungimų atpažinimas trečiojoje linijos atkarpoje

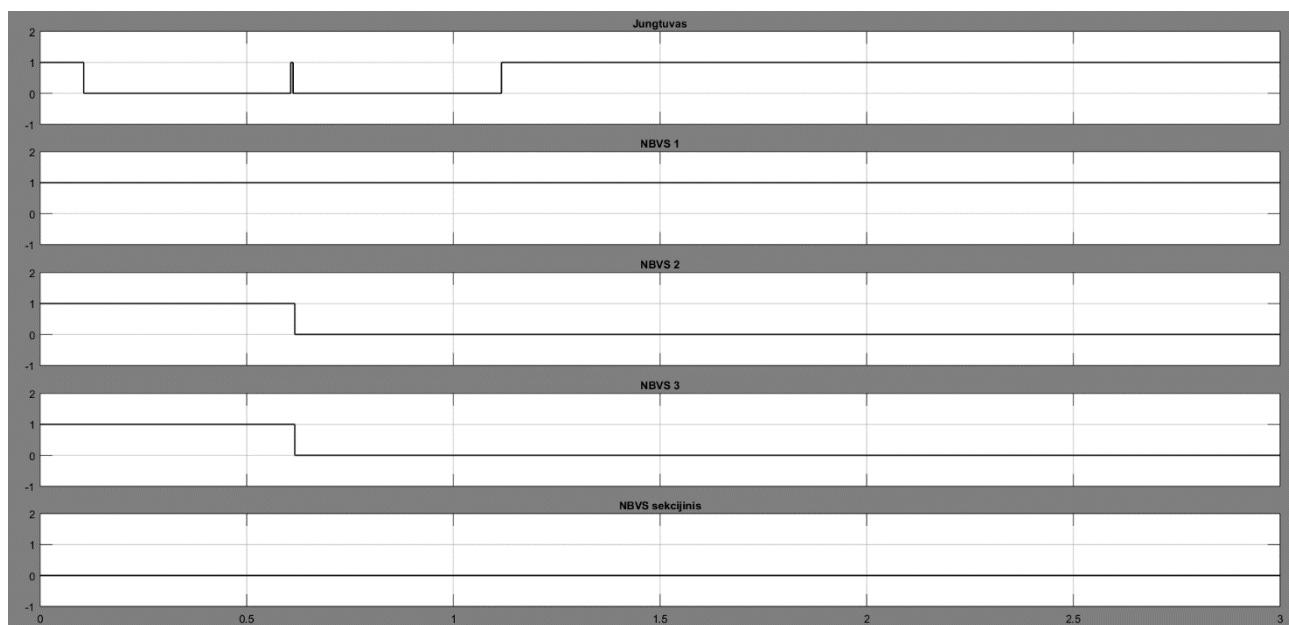
Trečiuoju atveju avarinis režimas tiriamas, kai trifazis trumpasis jungimas įvyksta atkarpoje į kurią jungiasi į sekcijinį skyriklį einanti atkarpa, todėl būtina paminėti, kad šiuo atveju sekcionavimas su linija L-2 nebus galimas (žr. 25 pav.).



25 pav. Principė ALGNIA sistemos schema, kai avarija imituojama atkarpoje NBVS2- NBVS3

Detalizuojant šios simuliacijos rezultatus galime išskirti šiuos veikimo etapus:

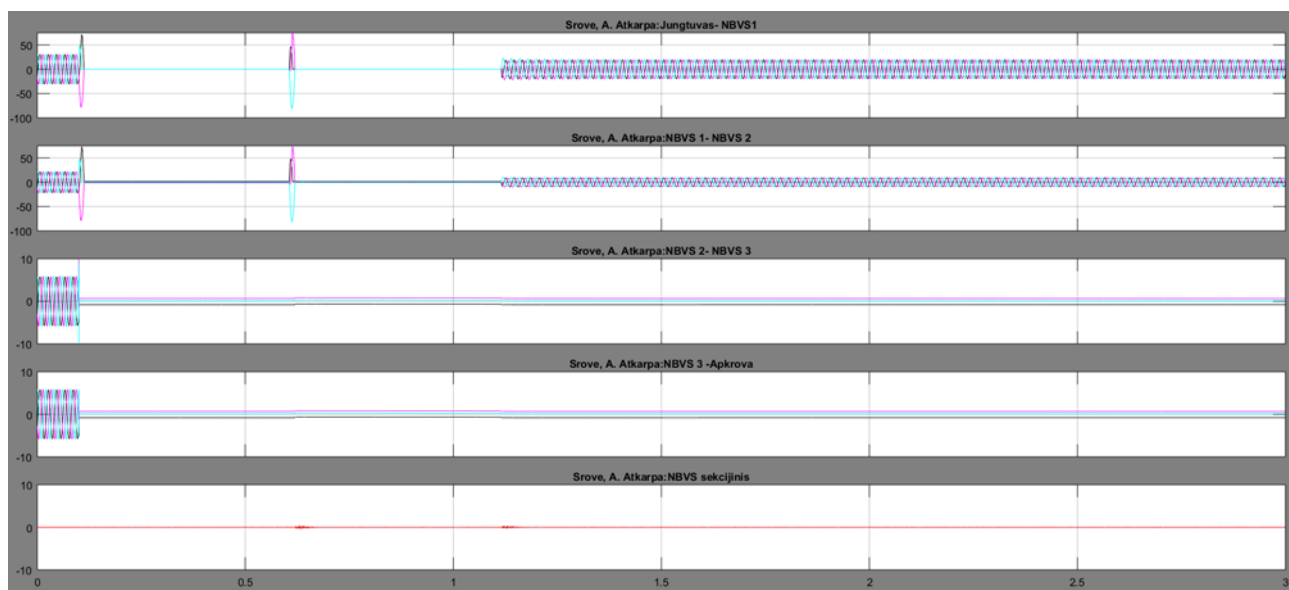
1. Trifazis trumpasis jungimas 0,1 –ają sekundę;
2. Jungtuvo išjungimas 0,11- ają sekundę;
3. Pirmoji AKĮ pauzė;
4. 0,6 –ają sekundę vykdomas pirmasis AKĮ;
5. Relinių apsaugų terminalas 0,61 – ają sekundę perduoda signalą į ALGNIA įrenginį apie nesėkmingą AKĮ veikimą;
6. ALGNIA įrenginys gavęs paleidimo komandą nedelsiant pradeda informacijos surinkimą iš linijos būklės daviklių, taip įvertindamas avarinio režimo vietą;
7. Šiuo atveju srovė taip pat teka į trumpojo jungimo vietą, tad srovė prateka pro linijos srovės transformatorių, bei pro linijos būklės daviklius (LBO1 ir LBO2). Tad pagal surinkta informaciją ALGNIA 1 įrenginys įvertina, kad trumpasis jungimas įvyko trečiajame ruože, todėl pradedamas avarijos vietos izoliavimas. Šiuo atveju ALGNIA įrenginys priima sprendimą, kad privaloma išjungti NBVS2 ir NBVS3, todėl 0,61 sekundę išjungiami nuotoliniu būdu valdomi skyrikliai, taip lokalizuojama avarijos vietą (žr. 26 pav.).



**26 pav.** ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija trečiojoje atkarpoje

Išvedus avarijos vietos ruožą pradedamas energijos tiekimo atstatymas. ALGNIA 1 įrenginys perduoda informaciją į pirmosios linijos IED apie sėkmingą avarijos vietos išskyrimą bei signalą antrojo AKĮ užbaigimui. Tokiu būdu 1,1-ają sekundę pakartotinai įjungiamas jungtuvas ir atstatomas elektros energijos tiekimas pirmajame bei atrajame linijos ruože. Kadangi avarija įvyksta trečiajame

ruože, tad elektros energijos atkūrimas ketvirtajam ruožui nėra galimas nes sekcijinis skyriklis būtų įjungiamas į trumpojo jungimo vietą.



**28 pav.** Srovės tekėjimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas antrojoje atkarpoje



**27 pav.** Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas trečiojoje atkarpoje

Šiuo atveju elektros energijos tiekimas atkuriamas per 1 sekundę, t.y. greičiau nei praėjusiais atvejais, tačiau šios avarijos atveju izoliuojamas ne tik trečiasis, bet ir ketvirtasis ruožas. Todėl galime paminėti, kad tai yra vienas didžiausių sistemos minusų, jog įvykus trumpajam jungimui sekcionavimo atkarpoje, dalis vartotojų šios tinklo topologijos atveju atveju lieka izoliuoti. Tačiau apžvelgdami ALGNIA sistemos veikimą, galime teigti, kad priimama teisinga komutacinių aparatų valdymo seka, bei sistema veikia teisingai, nes kitokia valdymo seka nėra galima, dėl pasirinktos tinklo topologijos (žr. 27 pav. ir 28 pav.).



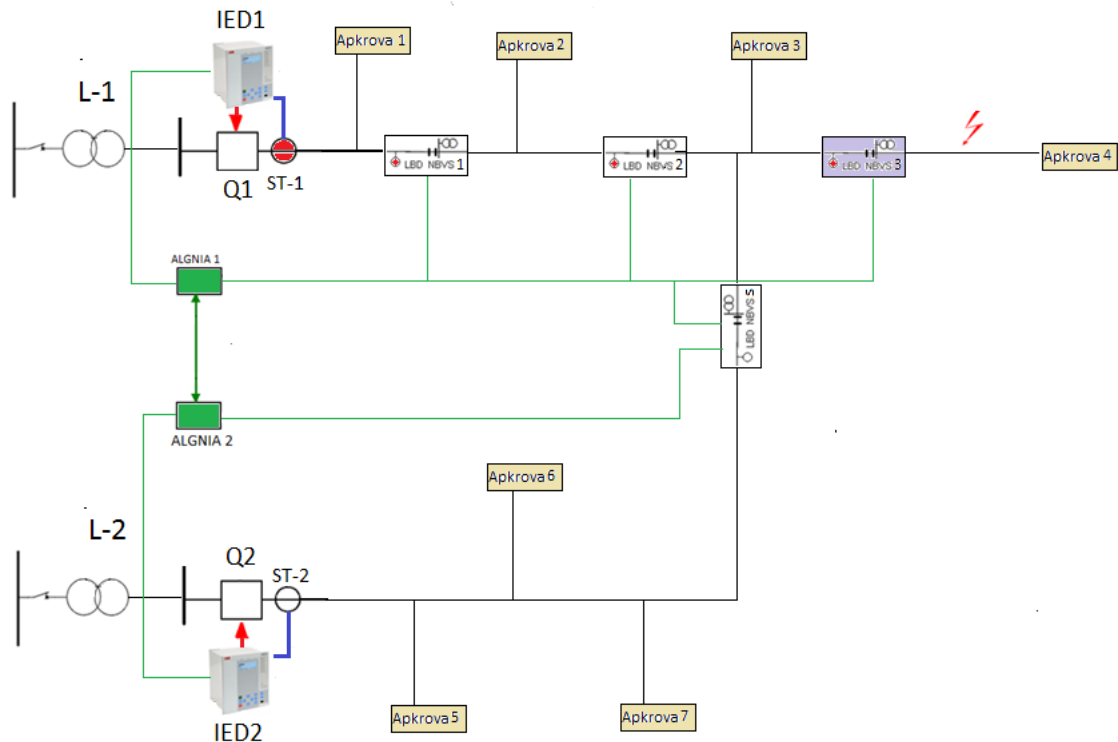
Apibendrinti modeliavimo rezultatai pateikiami šeštoje lentelėje.

**6 lentelė.** Modeliavimo rezultatai, kai trifazis trumpas jungimas trečiojoje atkarpoje

Laikas	0s	0,1s (t,j)	0,11	0,6s (AKI)	0,61s	1,1s	2,1s	2,5s
<b>Atkarpą Jungtuvas-NBVS1</b>								
Jungt. pad(1/0)	1	1	0	1	0	1	1	1
NBVS1(1/0)	1	1	1	1	1	1	1	1
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	5,8	5,8	5,8
Srovė, A	15	67	0	0	0	20	20	20
<b>Atkarpą NBVS1-NBVS2</b>								
NBVS2(1/0)	1	1	1	1	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	5,8	5,8	5,8
Srovė, A	15	67	0	0	0	15	15	15
<b>Atkarpą NBVS2-NBVS3</b>								
NBVS3(1/0)	1	1	1	1	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	0	0	0
Srovė, A	6	6	0	0	0	0	0	0
<b>Atkarpą NBVS3-Pabaiga</b>								
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	0	0	0
Srovė, A	6	6	0	0	0	0	0	0
<b>Sekcijinis NBVS(0/1)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Srovė, A	0	0	0	0	0	0	0	0

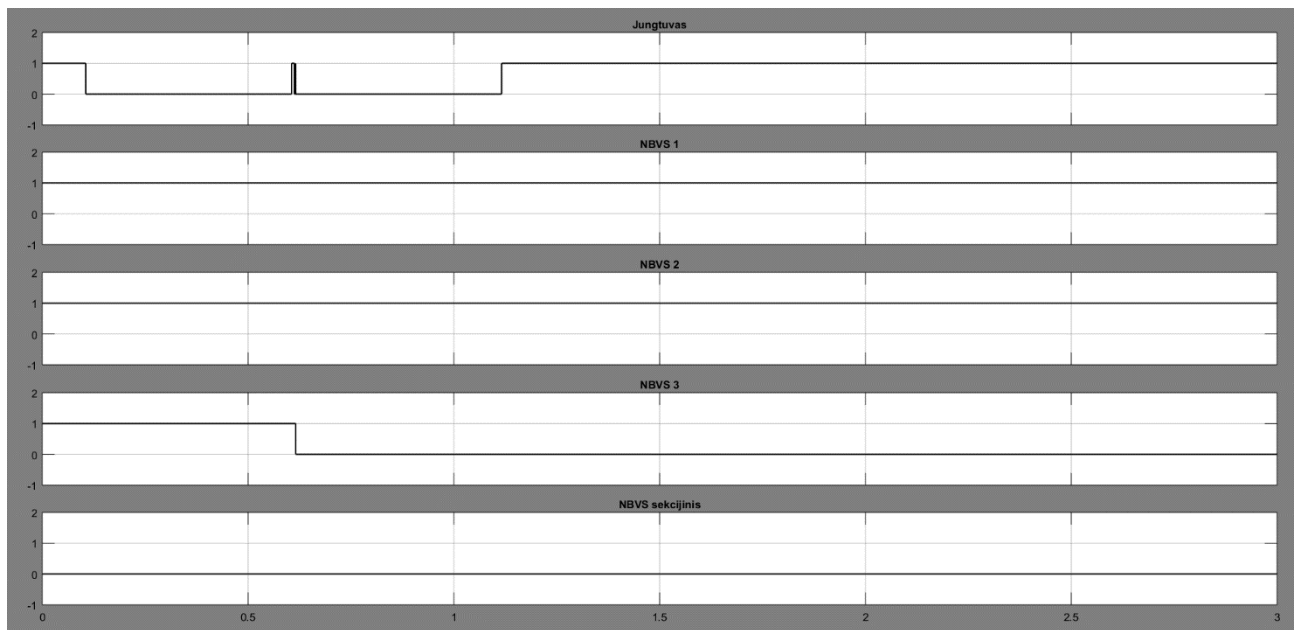
### 3.3.4 Trifazių trumpųjų jungimų atpažinimas ketvirtojoje linijos atkarpoje

Ketvirtosios atvairijos atveju trumpasis režimas įvyksta paskutinėje L-1 atkarpoje (NBVS3-Apkrova 4). Šiuo atveju logikos veikimas labai panašus į trečiosios avarijos atvejį, nes sekcionavimas su L-2 taip pat nėra vykdomas.



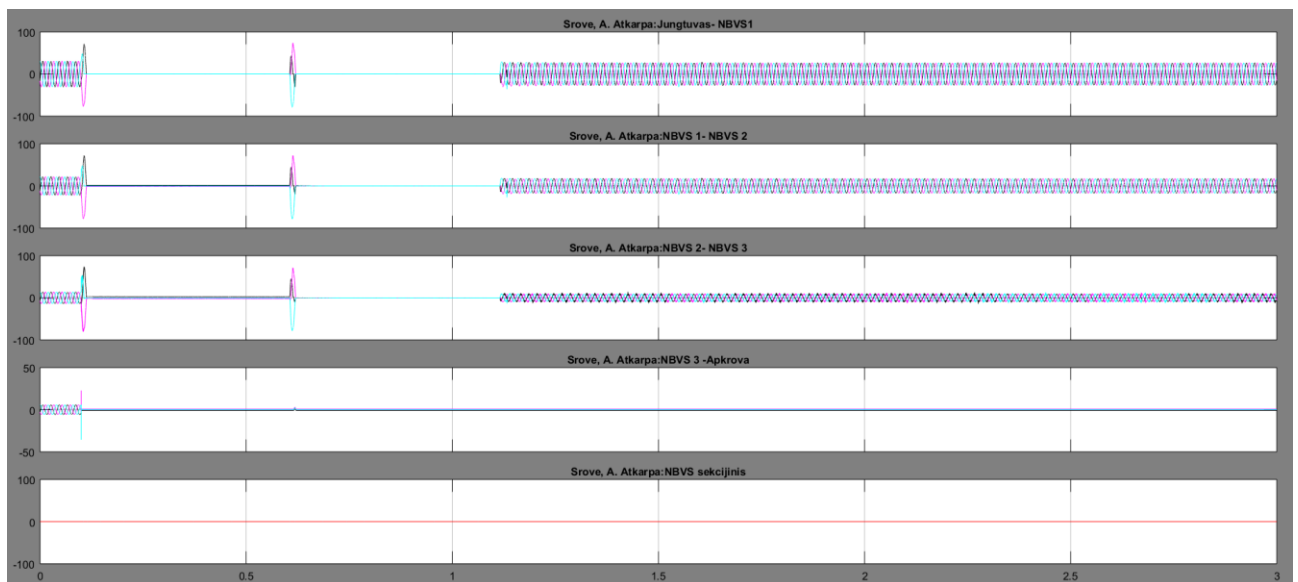
**29 pav.** Principė ALGNIA sistemos schema, kai avarija imituojama atkarpoje NBVS3- Apkrova 4  
 Detalizuojant simuliacijos rezultatus galime išskirti šiuos veikimo etapus:

1. Trifazis trumpasis jungimas 0,1 –ają sekundę;
2. Jungtuvo išjungimas 0,11- ają sekundę;
3. Pirmoji AKĮ pauzė;
4. 0,6 –ają sekundę vykdomas pirmasis AKĮ;
5. Relinių apsaugų terminalas 0,61 – ają sekundę perduoda signalą į ALGNIA įrenginį apie nesėkmingą AKĮ veikimą;
6. ALGNIA įrenginys gavęs paleidimo komandą nedelsiant pradeda informacijos surinkimą iš linijos būklės daviklių, taip įvertindamas avarinio režimo vietą;
7. Trumpojo jungimo srovė prateka pro linijos srovės transformatorių, bei pro linijos būklės daviklius (LBD1, LBD2, LBD3). Tad pagal surinktą informaciją ALGNIA 1 įrenginys įvertina, kad trumpasis jungimas įvyko ketvirtajame ruože, todėl pradedamas avarijos vietos izoliavimas. Šiuo atveju ALGNIA įrenginys priima sprendimą, kad privaloma išjungti tik NBVS3, todėl 0,61 sekundę išjungiamas nuotoliniu būdu valdomas skyriklis, taip lokalizuojama avarijos vietą (žr. 30 pav.).



**30 pav.** ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija ketvirtojoje atkarpoje

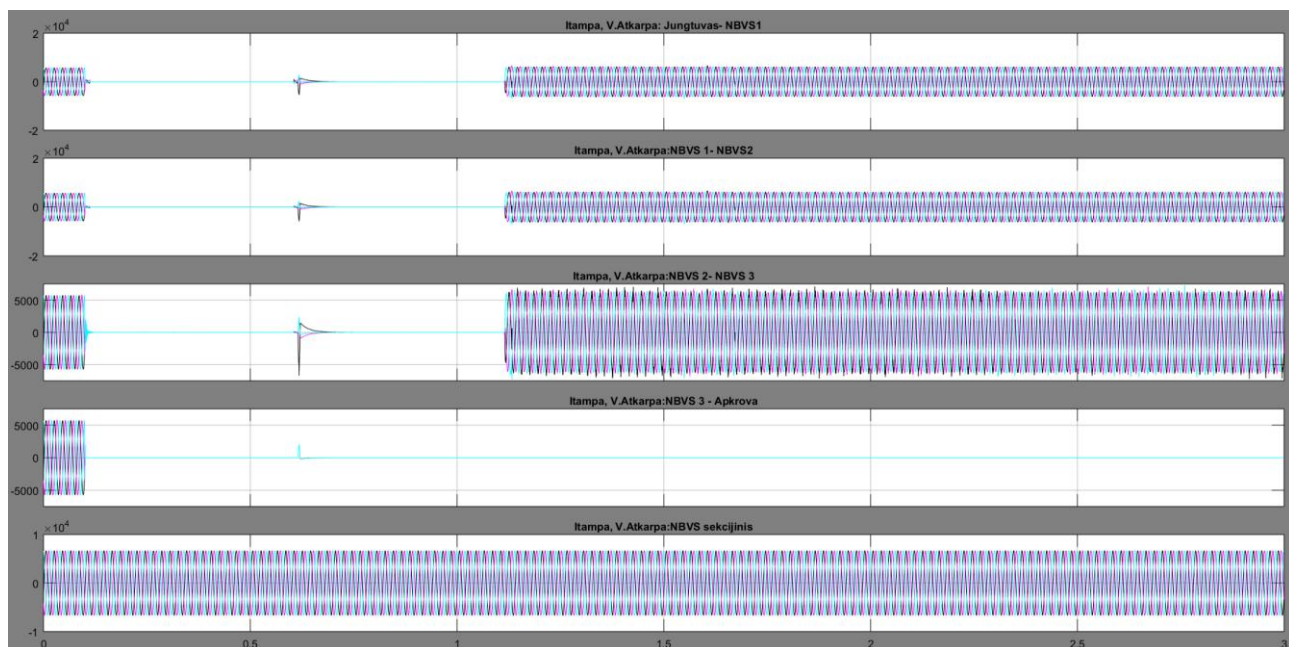
Išvedus avarijos vietos ruožą pradedamas energijos tiekimo atstatymas, kuris šiuo atveju yra ganėtinai paprastas. ALGNIA 1 įrenginys perduoda informaciją į pirmosios linijos *IED* apie sėkmingą avarijos vietos išskyrimą bei signalą antrojo AKĮ užbaigimui. Tokiu būdu 1,1-ąją sekundę pakartotinai įjungiamas jungtuvas ir atstatomas elektros energijos tiekimas pirmajame, antrajame ir trečiajame linijos ruože (žr. 31 pav. ir 32 pav.).



**31 pav.** Srovės tekėjimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas ketvirtojoje atkarpoje

Pagal gautus rezultatus matotme, kad elektros energijos tiekimas sutrinka tik 1 sekundę. Todėl galime teigti, kad avarijai įvykus linijos gale, jos likvidavimas yra ganėtinai paprastas ir greitas. Pagrindiniai reikalavimai sistemos logikai:

1. Relinių apsaugų terminalui (*IED*) atpažinti avarijos vietą;
2. Įvykdyti pirmąjį AKĮ;
3. Atpažinti avarijos vietą ir išjungti paskutinį NBVS;
4. Įvykdyti antrąjį kartotinį įjungimą, taip užbaigiant sėkmingą sistemos veikimą.



**32 pav.** Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai trifazis trumpas jungimas ketvirtojoje atkarpoje

Apibendrinti modeliuojami rezultatai pateikiami 7-oje lentelėje.

**7 lentelė.** Modeliavimo rezultatai, kai trifazis trumpas jungimas ketvirtojoje atkarpoje

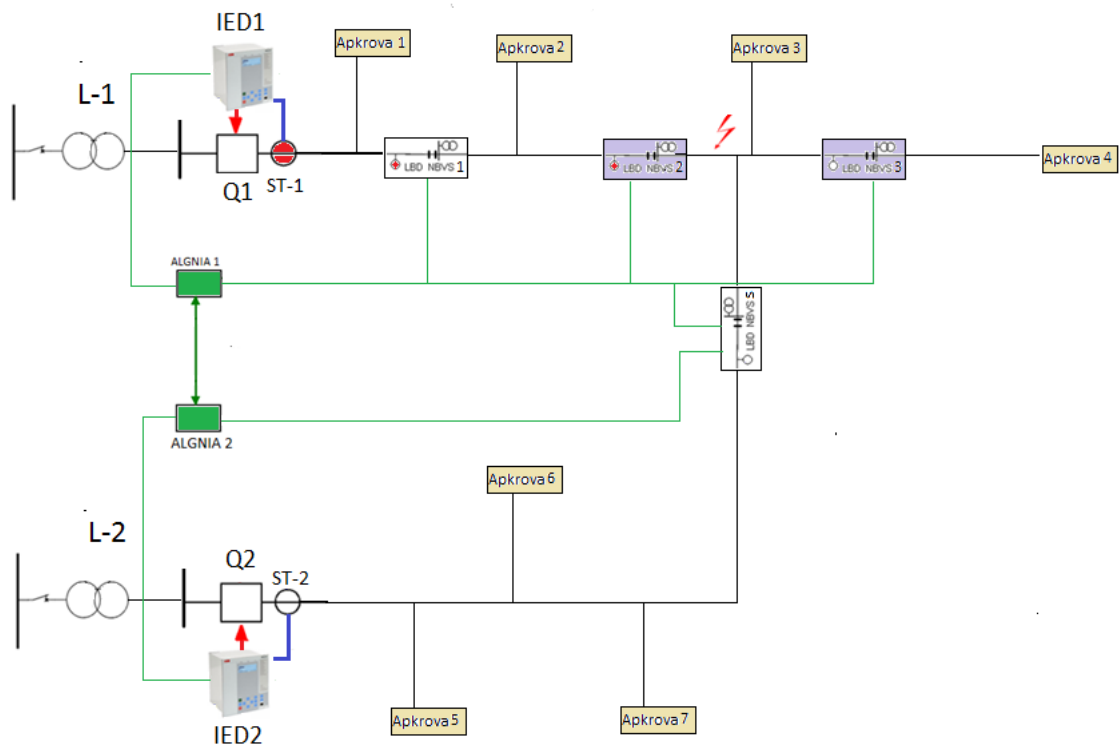
Laikas	0s	0,1s (t,j)	0,11	0,6s (AKĮ)	0,61s	1,1s	2,1s	2,5s
<b>Atkarpa Jungtuvas-NBVS1</b>								
Jungt. pad(1/0)	1	1	0	0	0	1	1	1
NBVS1(1/0)	1	1	1	1	1	1	1	1
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	5,8	5,8	5,8
Srovė, A	28	62	0	82	28	28	28	28
<b>Atkarpa NBVS1-NBVS2</b>								
NBVS2(1/0)	1	1	1	1	1	1	1	1
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	5,8	5,8	5,8
Srovė, A	15	62		82	15	15	15	15
<b>Atkarpa NBVS2-NBVS3</b>								
NBVS3(1/0)	1	1	1	1	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	5,8	5,8	5,8
Srovė, A	12	62	0	82	12	12	12	12
<b>Atkarpa NBVS3-Pabaiga</b>								

Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	0	0	0
Srovė, A	8	8	0	0	0	0	0	0
<b>Sekcijinis NBVS(0/1)</b>	0	0	0	0	0		0	0
Įtampa, kV	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Srovė, A	0	0	0	0	0	0	0	0

### 3.3.5 Dvifazių trumpųjų jungimų atpažinimas linijoje.

Siekiant išanalizuoti ALGNIA sistemos įdiegimo galimybes realioje sistemoje būtina ištestuoti sistemos veikimą ne tik esant didžiausiai galimai avarijai tinkle, bet ir mažiausiai. Šiuo atveju tai dvifazis trumpasis jungimas. Testavimo metu siekiama iširti ar sistema pajėgi atpažinti mažiausias galimas avarijas tinkle.

Tuo tikslu linijoje L-1, trečiojoje atkarpoje (NBVS2-NBVS3) imituojamas dvifazis trumpasis jungimas, bei stebima ar sistema pajėgi atpažinti avarijos vietą, ja izoliuoti ir atkurti elektros energijos tiekimą likusiems varotojams (žr. 33).

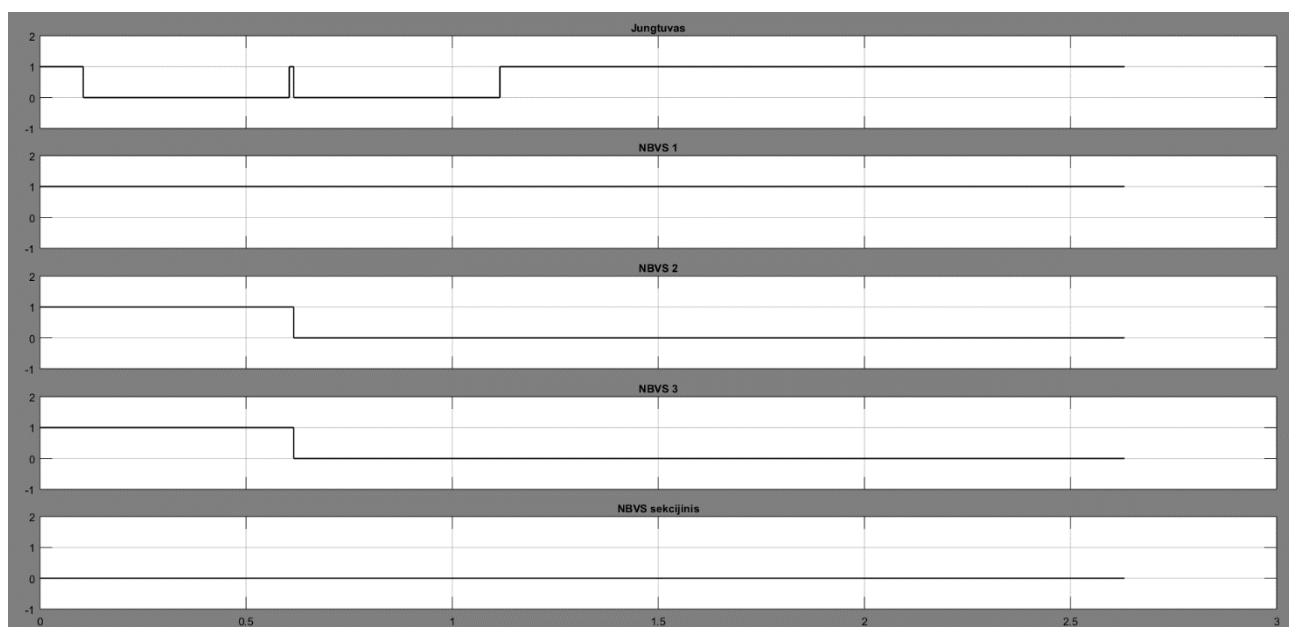


**33 pav.** Principė ALGNIA sistemos schema, kai dvifazis trumpasis jungimas imituojamas atkarpoje NBVS2- NBVS3

Simuliacijos seka:

1. Trifazis trumpasis jungimas 0,1 –ają sekundę;
2. Jungtuvo išjungimas 0,11- ają sekundę;

3. Pirmoji AKĮ pauzė;
4. 0,6 –ają sekundę vykdomas pirmasis AKĮ;
5. Relinių apsaugų terminalas 0,61 – ają sekundę perduoda signalą į ALGNIA įrenginį apie nesėkmingą AKĮ veikimą;
6. ALGNIA įrenginys gavęs paleidimo komandą nedelsiant pradeda informacijos surinkimą iš linijos būklės daviklių, taip įvertindamas avarinio režimo vietą. srovė prateka pro linijos srovės transformatorių, bei pro linijos būklės daviklius (LBO1 ir LBO2). Tad pagal surinkta informaciją ALGNIA 1 įrenginys įvertina, kad trumpasis jungimas įvyko trečiajame ruože, todėl pradedamas avarijos vietos izoliavimas;
7. Šiuo atveju ALGNIA įrenginys priima sprendimą, kad privaloma išjungti NBVS2 ir NBVS3, todėl 0,61 sekundę išjungiami nuotoliniu būdu valdomi skyrikliai, taip lokalizuojama avarijos vietą (žr. 34 pav.).



**34 pav.** ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija trečiojoje atkarpoje

Būtina paminėti, kad avarija įmituojama toje atkarpoje į kurią jungiasi sekcijinis skyriklis, todėl šiuo atveju sekcinavimas su linija L-2 nebus galimas, o atkarpa NBVS3 – Apkrova 4 liks be elektros energijos tiekimo ( žr. 35, 36 pav.). Tuo tarpu *IED* gavęs informaciją iš ALGNIA apie sėkmingai išskirtą avarijos vietą, paleis antrojo automatinio kartotinio įjungimo komandą bei atkurs elektros energijos tiekimą pirmajai ir antrajai atkarpai (Jungtuvas Q1 –NBVS1 ir NBVS1- NBVS2).



**35 pav.** Srovės tekėjimo grafikas, kai dvifazis trumpasis jungimas trečiojoje atkarpoje



**36 pav.** Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai dvifazis trumpas jungimas trečiojoje atkarpoje

Pagal gautus modeliavimo duomenis, gauname analogišką logikos veikimo seką, kaip trifazio trumpojo jungimo atveju trečiojoje linijos atkarpoje, tad galime teigti, kad sistema sėkmingai veikia esant dvifaziems trumpiesiems jungimams. Modeliavimo rezultatai, kai dvifazis trumpas jungimas imituojamas kitose linijos atkarpose gaunami analogiški trifazio trumpojo jungimo atvejams, todėl gauti rezultatai pateikiami 1, 2 ir 3 prieduose.

Apibendrinami galime daryti išvadą, kad sistema taip pat sėkmingai susitvarko su dvifaziais trumpaisiais jungimais linijoje.

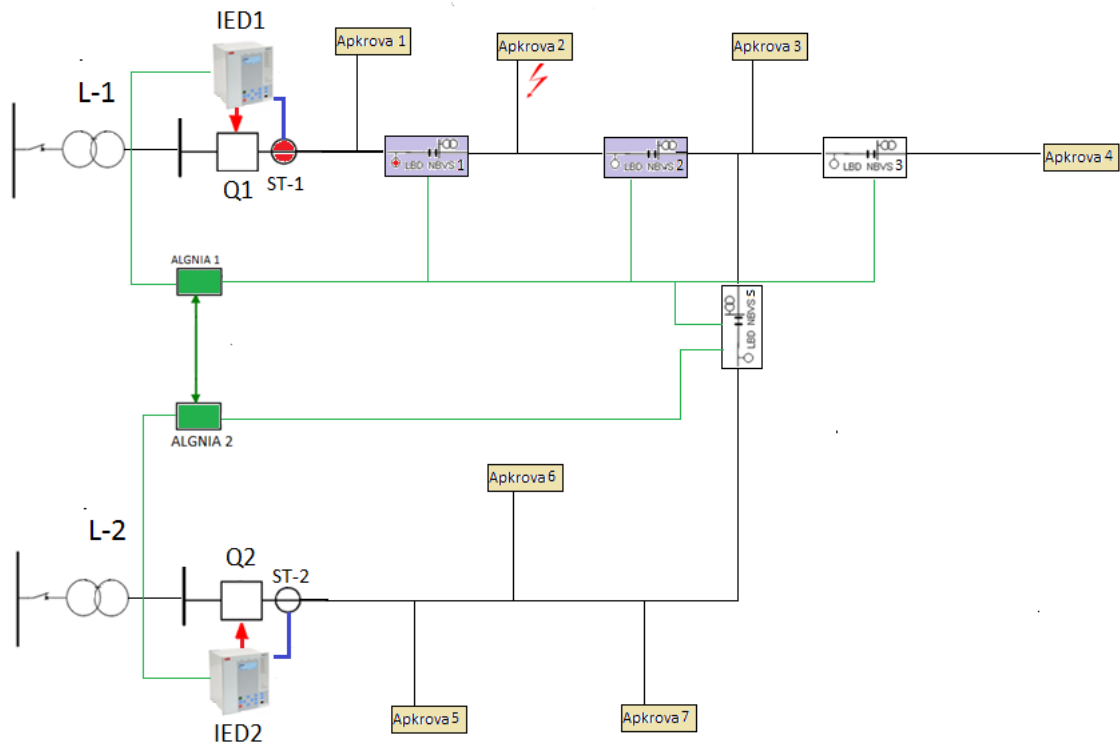
**8 lentelė.** Modeliavimo rezultatai, kai dvifazis trumpasis jungimas trečiojoje atkarpoje

Laikas	0s	0,1s (t.j)	0,11	0,6s (AKI)	0,61s	1,1s	2,1s	2,5s
<b>Atkapra Jungtuvas-NBVS1</b>								
Jungt. pad(1/0)	1	1	0	1	0	1	1	1
NBVS1(1/0)	1	1	1	1	1	1	1	1
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	5,8	5,8	5,8
Srovė, A	15	58	0	0	0	20	20	20
<b>Atkarpa NBVS1-NBVS2</b>								
NBVS2(1/0)	1	1	1	1	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	5,8	5,8	5,8
Srovė, A	15	57	0	0	0	15	15	15
<b>Atkarpa NBVS2-NBVS3</b>								
NBVS3(1/0)	1	1	1	1	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	0	0	0
Srovė, A	6	6	0	0	0	0	0	0
<b>Atkarpa NBVS3-Pabaiga</b>								
Įtampa, kV	5,7	5,7	0	0	0	0	0	0
Srovė, A	6	6	0	0	0	0	0	0
<b>Sekcijinis NBVS(0/1)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Srovė, A	0	0	0	0	0	0	0	0

### 3.4 Trifazio trumpojo jungimo atpažinimas atšakoje

Nagrinėjama elektros sistemos topologija, linijoje L-1 turi tris atšakas. Kiekviena atšaka pasižymi skirtingomis apkrovomis. Todėl siekiama užtikrinti nenutrūkstama elektros energijos tiekimą vartotojams bei įvertinti ALGNIA sistemos veikimą, kai didžiausia galima avarija t.y trifazis trumpas jungimas įvyksta vienoje iš atšakų (žr. 37 pav.).



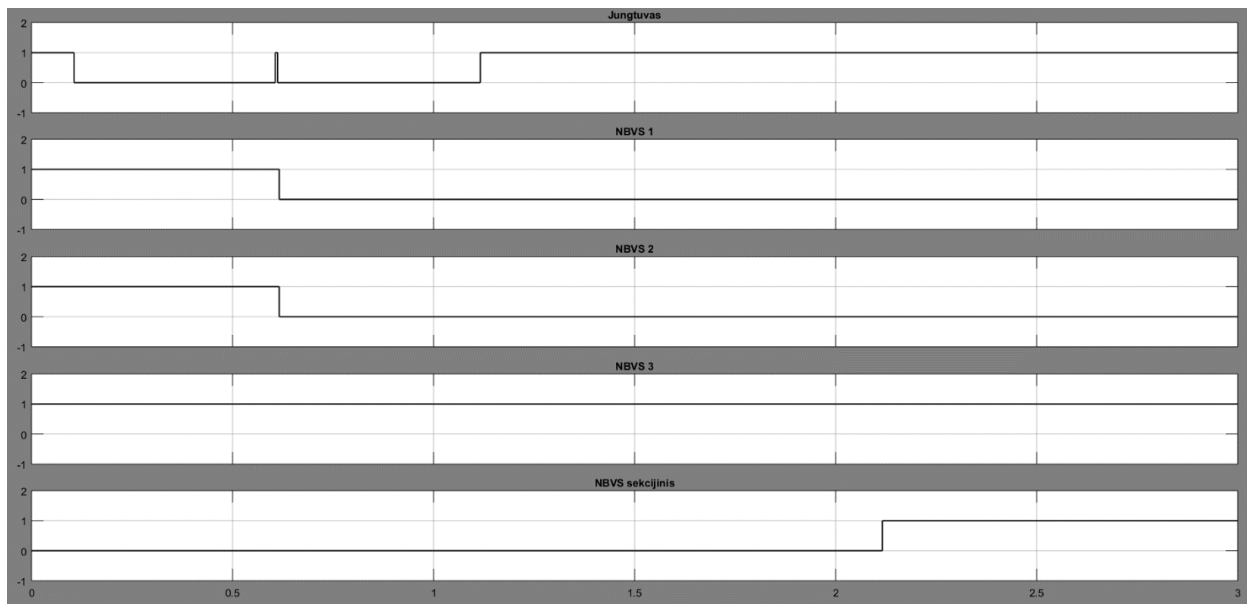


**37 pav.** Principė ALGNIA sistemos schema, kai trifazis trumpasis jungimas imituojamas atšoke Apkrova 2

Kaip ir anksčiau nagrinėtais atvejais, siekiant įvertinti ALGNIA sistemos veikimo galimybes, modeliuojamas trijų sekundžių procesas.

Detalizuojant šios simuliacijos rezultatus galime išskirti šiuos veikimo etapus:

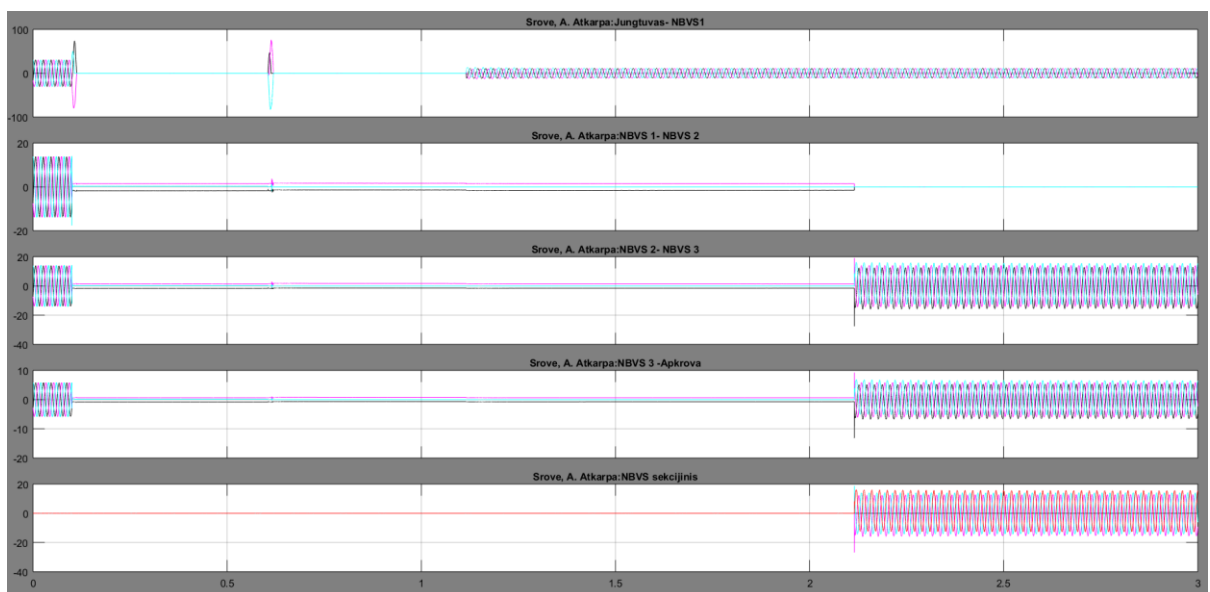
1. Trifazis trumpasis jungimas 0,1 –ają sekundę;
2. Jungtuvo išjungimas 0,11- ają sekundę;
3. Pirmoji AKĮ pauzė;
4. 0,6 –ają sekundę vykdomas pirmasis AKĮ;
5. Relinių apsaugų terminalas 0,61 – ają sekundę perduoda signalą į ALGNIA įrenginį apie nesėkmingą AKĮ veikimą.
6. ALGNIA įrenginys gavęs paleidimo komandą nedelsiant pradeda informacijos surinkimą iš linijos būklės daviklių, taip įvertindamas avarinio režimo vietą. Šiuo atveju srovė teka į trumpojo jungimo vietą. Todėl srovė prateka pro linijos srovės transformatorių, bei pro pirmąjį linijos būklės daviklį (LBD1).
7. Tad pagal surinktą informaciją ALGNIA 1 įrenginys įvertina, kad trumpasis jungimas įvyko antrajame ruože, todėl pradamas avarijos vietos izoliavimas. Šiuo atveju ALGNIA įrenginys priima sprendimą, kad privaloma išjungti NBVS1 ir NBVS2, todėl 0,61 sekundę išjungiami nuotoliniu būdu valdomi skyrikliai, taip lokalizuojant avarijos vietą (žr. 38 pav.).



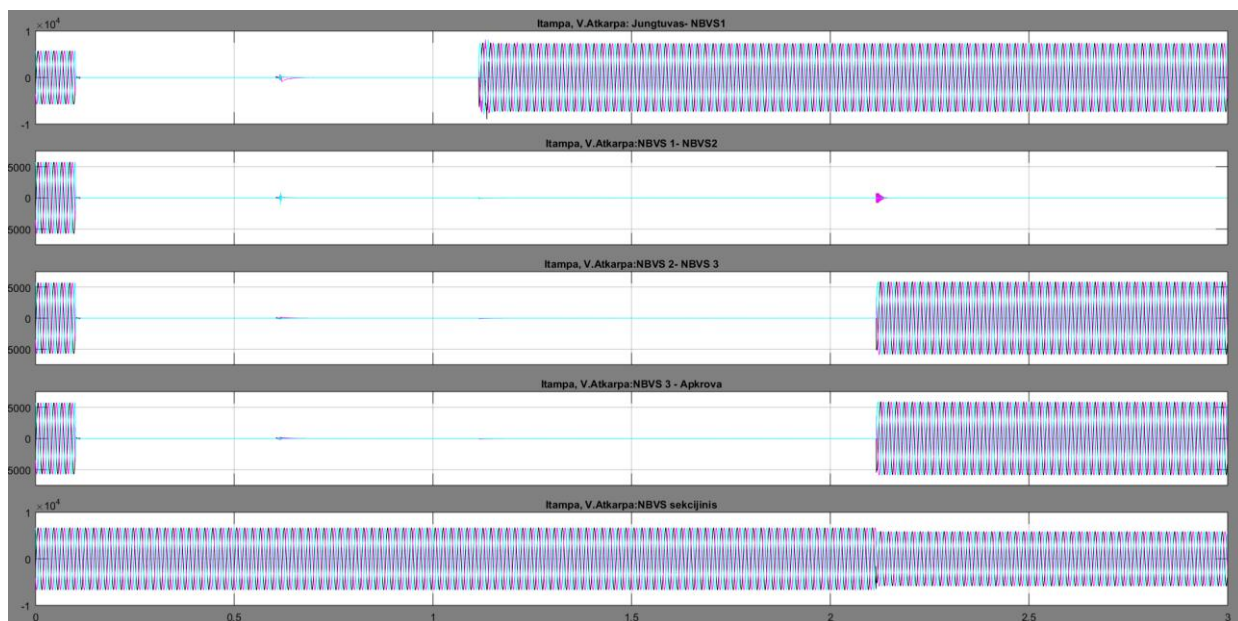
**38 pav.** ALGNIA sistemos komutacinių įrenginių valdymo schema. Avarija atšakoje Apkrova 2

Išvedus avarijos vietos ruožą pradedamas energijos tiekimo atstatymas. ALGNIA 1 įrenginys perduoda informaciją į pirmosios linijos IED apie sėkmingą avarijos vietos išskyrimą bei perduoda signalą antrojo AKĮ užbaigimui. Tokiu būdu 1,1-ąją sekundę pakartotinai įjungiamas jungtuvas ir atstatomas elektros energijos tiekimas pirmajame linijos ruože.

Trečiojo ir ketvirtojo ruožo energijos tiekimo atkūrimui įjungiamas sekcijinis nuotliniu būdu valdomas skyriklis, tačiau prieš tai gaunamas IED 2 leidimas dėl papildomos papildomos apkrovos prijungimo. Šiuo atveju 2,1-ąją sekundę ALGNIA 2 įrenginys prijungia sekcijinę NBVS, bei atkuria pirmosios linijos elektros energijos tiekimą trečiajam ir ketvirtajam ruožui (žr. 39 pav. ir 40 pav.).



**39 pav.** Srovės tekėjimo grafikas, kai trifazis trumpasis jungimas atšakoje Apkrova 2



**40 pav.** Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, kai trifazis trumpasis jungimas atšakoje Apkrova 2

Galime pastebėti, kad šiuo atveju ALGNIA sistema veikia analogiškai, kaip ir anksčiau nagrinėtu atveju, kai trifazis trumpasis jungimas įvyksta antrojoje linijos atkarpoje. Svarbu paminėti, kad abiem atvejais avarijos vieta patenka į NBVS1 ir NBVS2 saugomą ruožą, todėl remiantis šiais rezultatais galime teigti, ALGNIA sistema abiem atvejais teisingai įvykdo sistemos veikimui keliamus reikalavimus. Apibendrinti modeliavimi rezultatai pateikiami 9 lentelėje.

Modeliuojami rezultatai, kai trifazis trumpasis jungimas įvyksta pirmojoje ir antrojoje atšakoje pateikiami ketvirtajame ir penktajame darbo priede. Kadangi ALGNIA sistemos veikimo algoritmai gaunasi analogiški, lyginant su trifazio trumpojo jungimo rezultatais pirmojoje ir antrojoje linijos dalyje, tad galime teigti, kad ALGNIA sistema taip pat sėkmingai atpažįsta trifazius trumpuosius jungimus linijų atšakose.

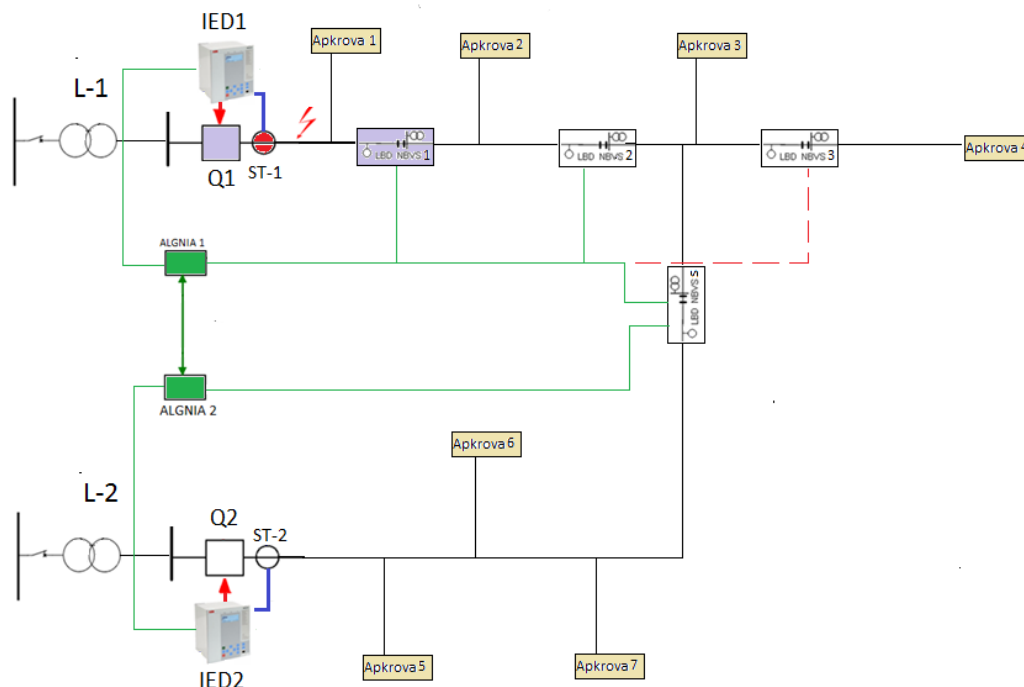
**9 lentelė.** Modeliavimo rezultatai, kai trifazis trumpas jungimas antrojoje atšakoje

Laikas	0s	0,1s (t,j)	0,11	0,6s (AKI)	0,61s	1,1s	2,1s	2,5s
<b>Atkarpa Jungtuvas-NBVS1</b>								
Jungt. pad(1/0)	1	1	0	1	0	1	1	1
NBVS1(1/0)	1	1	1	0	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,77	5,77	0	0	0	6	6	6
Srovė, A	25	85	0	0	0	15	15	15
<b>Atkarpa NBVS1-NBVS2</b>								
NBVS2(1/0)	1	1	1	0	0	0	0	0
Įtampa, kV	5,77	5,77	0	0	0	0	0	0
Srovė, A	14	14	0	0	0	0	0	0
<b>Atkarpa NBVS2-NBVS3</b>								

NBVS3(1/0)	1	1	1	1	1	1	1	1
Įtampa, kV	5,77	5,77	0	0	0	0	5,6	5,6
Srovė, A	14	14	0	0	0	0	14,1	14,1
<b>Atkarpa NBVS3-Pabaiga</b>								
Įtampa, kV	5,77	5,77	0	0	0	0	5,6	5,6
Srovė, A	5,1	5,1	0	0	0	0	5,1	5,1
<b>Sekcijinis NBVS(0/1)</b>	0	0	0	0	0	0	1	1
Įtampa, kV	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,6	5,6
Srovė, A	0	0	0	0	0	0	19,2	19,2

### 3.5 Sistemos gedimas

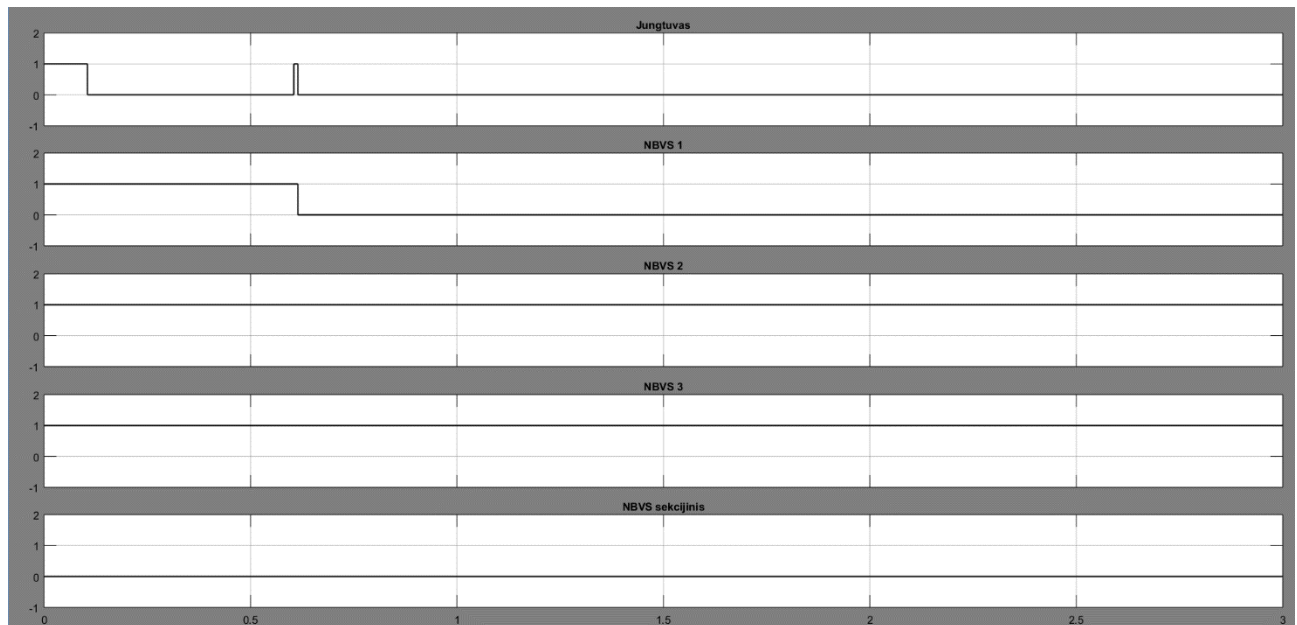
Tikslingai ALGNIA sistemos analizei būtina įvertinti sistemos veikimą ne tik įvykus trumpiesiems jungimas, tačiau ir kitiems nenumatytiems atvejams. Vienas realiausių ir labiausiai tikėtinų gedimų – ryšio praradimas su vienu iš ALGNIA sistemos elementų. Didelė tikimybė, kad gali tecti susidurti su informacijos perdavimo sutrikimais su nuo pastotės nutolusiais elementais tokiais, kaip linijos būklės davikliais ar nuotoliniu būdu valdomais skyrikliais (žr. 41 pav.).



**41 pav.** Principė ALGNIA sistemos schema, kai sistemoje įvykus ryšio gedimui

Tuo tikslu ALGNIA įrenginio veikimo logikoje įdiegiamas “saugiklis”, t.y. logika, kuri įvykus ryšio sutrikimui leidžia išjungti nuotoliniu būdu valdomus skyriklis, tačiau blokuoja ALGNIA įrenginio darbą atstatant elektros energijos tiekimą vartotojamas, siekdamas sumažinti klaidingo veikimo

galimybę. Taip pat formuojamas signalas į dispečerinio valdymo sistemą apie įvykusį ALGNIA sistemos gedimą. Tolimesnius elektros energijos tiekimo atstatymo sprendimus priima dispečerinio valdymo specialistas. ALGNIA sistemos veikimas įvykus ryšio gedimui pateikiamas 42 paveiksle.



**42 pav.** Komutacinių įrenginių valdymas įvykus ryšio gedimui

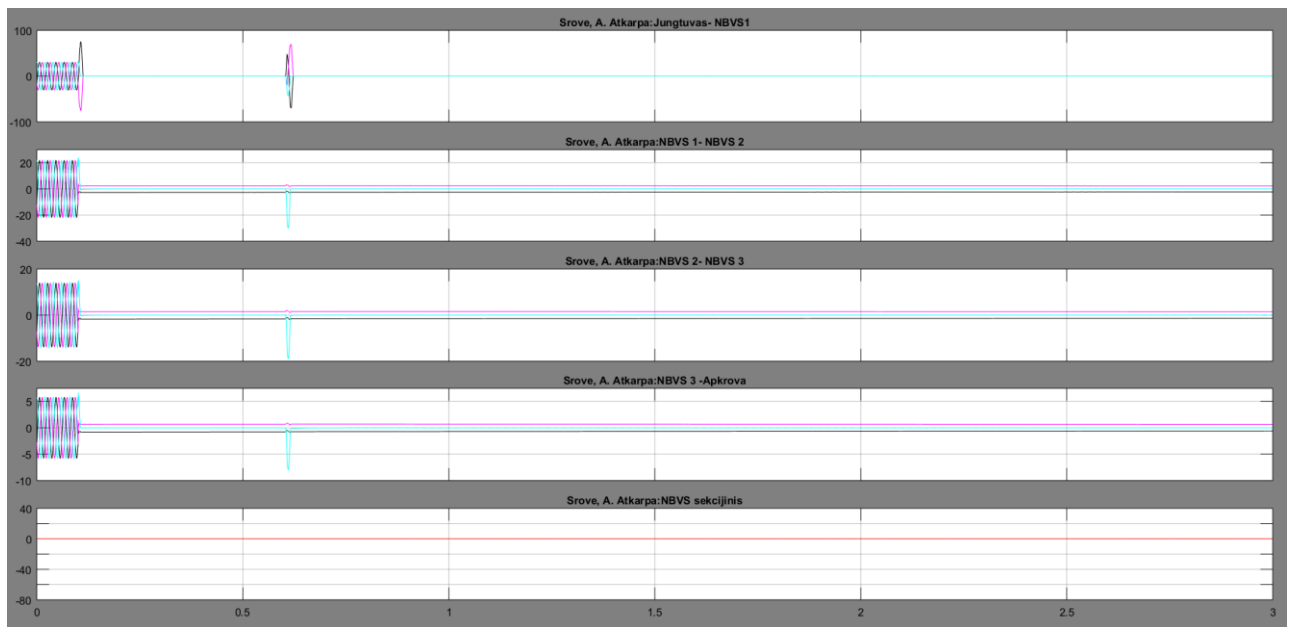
Šiuo atveju trumpasis jungimas imituojamas pirmojoje linijos L-1 atkarpoje. Ryšio gedimas imituojamas nutraukiant informacijos perdavimą iš LBD 3.

Išskiriami šie veikimo etapai:

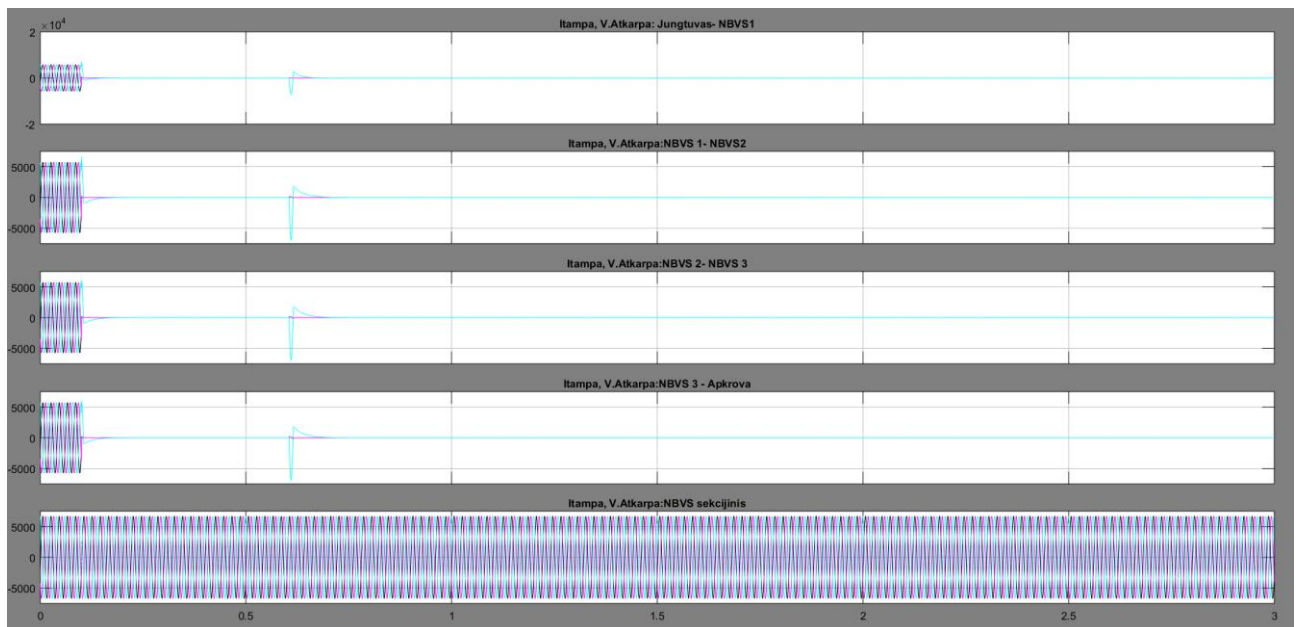
1. Trifazis trumpasis jungimas 0,1 –ają sekundę;
2. Jungtuvo išjungimas 0,11- ają sekundę;
3. Pirmoji AKĮ pauzė;
4. 0,6 –ają sekundę vykdomas pirmasis AKĮ;
5. Relinių apsaugų terminalas 0,61 – ają sekundę perduoda signalą į ALGNIA įrenginį apie nesėkmingą AKĮ veikimą;
6. ALGNIA įrenginys gavęs paleidimo komandą nedelsiant pradeda informacijos surinkimą iš linijos būklės davikli;
7. Pagal gautą informaciją nustatomas ryšio gedimas, išjungiamas NBVS1 ir blokuojamas elektros energijos atstatymo procesas.

Šiuo atveju ryšio gedimas avarijos vietos izoliavimo procesui įtakos nedaro, nes avarija įvyksta pirmoje linijos atkarpoje ir avarijos vieta išskiriama jungtuvu ir NBVS1, tačiau kitais atvejais avarijos vieta gali būti neišskiriama, arba išskiriama tik iš vienos avarijos vietos pusės. Tokiu atveju elektros energijos tiekimo atkūrimas galėtų būti atkuriamas į trumpojo jungimo vietą, taip pakartotinai sukeltant avariją. Tai galėtų sukelti dar didesnes avarijos pasekmes, bei nutraukti elektros energijos tiekimą

rezervuojančios linijos vartotojams. Todėl priimamas sprendimas, kad visais ryšio gedimo atvejais leidžiamas NBVS išjungimas, tačiau blokuojamas elektros energijos atstatymo algoritmas, taip išvengiant papildomų avarinių situacijų. 0,61 sekundę, po nesėkmingo automatinio kartotinio įjungimo išjungiamas jungtuvas ir NBVS1 bei blokuojami tolimesni ALGNIA įrenginio veiksmai (žr. 43 pav. ir 44 pav.).



**43 pav.** Srovės tekėjimo grafikas, įvykus ryšio gedimui



**44 pav.** Įtampos buvimo/nebuvimo grafikas, esant ryšio gedimui linijoje

## REKOMENDACIJOS

1. Modeliuojamoji ALGNIA sistema dar nėra įdiegta elektros tinkle, todėl tai tik teorinis modelis, kuris modeliuoja automatikos veikimą. Darbe nebuvo keltas tikslas įvertinti įvairių ryšio sistemų veikimą, todėl detali ryšių sistemų darbo analizė leistų išsamiau įvertinti ALGNIA sistemos darbo galimybes.

2. Siekiant sistemos įdiegimo į realų tinklą privaloma sistemos veikimo analizė įvykus linijos įžemėjimui, taip pat būtina ištirti dvigubo įžemėjimo atsiradimo galimybę bei įvertinti sistemos veikimo galimybes.

## IŠVADOS

1. Sukurta skirstomojo tinklo linijos avarijos vietos nustatymo, jos izoliavimo ir automatinio maitinimo atstatymo sistema ALGNIA, dirbanti autonomiškai nuo valdymo sistemos, tačiau yra suderinta su pastočių DVS ir RAA sistemomis. Sukurtas sistemos veikimo algoritmas, išskirti 3 automatikos veikimo etapai: linijos AKĮ, pažeistos linijos vietos išskyrimas, elektros tiekimo atstatymas.

2. Pasitelkus Matlab programinį paketą sukurtas ALGNIA sistemos modelis, modeliuojantis, avarinius režimus, informacijos surinkimą iš linijos būklės daviklių, automatikos veikimą esant trumpiesiems jungimams, informacijos mainus tarp RAA terminalų ir ALGNIA įrenginių, avarijos vietos atpažinimą pagal surinktus duomenis bei elektros energijos atkūrimą varotojams.

3. Įvertintos ALGNIA sistemos veikimo galimybės įvairiose tinklo vietose įvykus dvifaziams, trifaziams trumpiesiems jungimams. Visais avarinių režimų atvejais sistema sėkmingai nustato avarijos vietą, ją išskiria bei atkuria elektros tiekimą likusiems vartotojams. Ryšio sistemos sutrikimo atveju, sistema atjungia pažeistą liniją, tačiau blokuoja elektros tiekimo atkūrimą. Modeliuojamoje sistemoje avarijos atpažinimas, izoliavimas ir elektros tiekimo atkūrimo laikas priklauso nuo avarijos vietos, tačiau nepriklauso nuo avarijos pobūdžio. Elektros tiekimo atkūrimo procesas užtrunka 1 sekundę, kai nereikalingas rezervuojančios linijos įjungimas. Sėkmingo rezervavimo atveju elektros tiekimas atkuriamas nuo avarijos pradžios po 2 sekundžių.



## LITERATŪRA

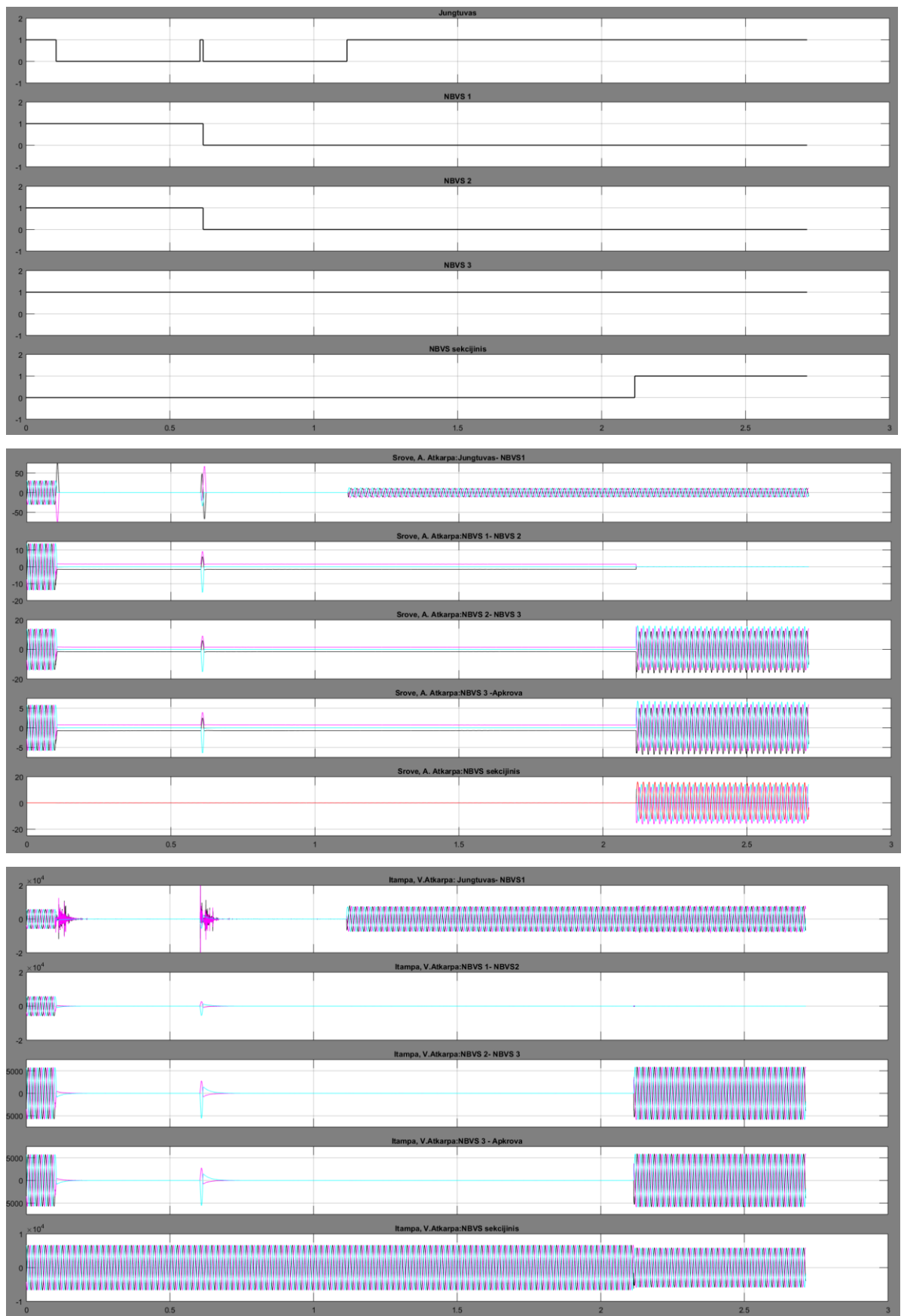
1. P. Greblikas, D. Kriščiukaitis, S. Kadiša, A. Klementavičius, M. Krakauskas.(1997). *Skirstomųjų elektros tinklų vystymo ir valdymo strategija*. Kaunas.
2. Lietuvos Respublikos Energetikos Ministerija. (2015). Elektros energetikos infrastruktūros energijos vartojimo efektyvumo potencialo, ypač susijusio su perdavimu, skirstymu, savomis reikmėmis, gamybos efektyvumu, apkrovos valdymu ir visų šių elementų tarpusavio sąveika, taip pat prijungimu prie energijos gamybos įrenginių, be kita ko, prieigos galimybėmis labai mažos galios energijos generatorių atveju, įvertinimas. Galutinė ataskaita.
3. A. Nargėlas, Informacinės technologijos ir elektros energetikos sistemų ateitis. Energetika, 2006.
4. Yeager K., Gehl S., Barker B. The Role of Smart Power Technologies in Global Electrification // 19th World Energy Congress, Sydney, Australia, September 5–9, 2004. P. 1–20.
5. IEC Smart Grid Standardization Roadmap 2010.
6. European Technology Platform SmartGrids Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future September 2008. Peržiūrėta 2016-05-12 adresu: <http://www.smartgrids.eu>
7. Clark W. Gellings, P.E. (2015). Smart grid planing and implementation.
8. You, S., Træholt, C., & Poulsen, B. (2010). Developing Virtual Power Plant for Optimized Distributed Energy Resources Operation and Integration. Kgs. Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark (DTU).
9. U.S. Department of Energy. (2014). Fault Location, Isolation, and Service Restoration Technologies Reduce Outage Impact and Duration.
10. AB LESTO technolinės tinklo plėtros strategija.
11. V. G. Werner, et al., "Collecting and Categorizing Information Related to Electric Power Distribution Interruption Events: Data Consistency and Categorization for Benchmarking Surveys", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, no. 1, January 2006.
12. IEEE Power Engineering Society, "1366 IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices", IEEE Std 1366™-2003, 14 May 2004.
13. F. Roos and S. Lindahl, "Distribution System Component Failure Rates and Repair Times – An Overview", Lund University, Sweden.
14. M. Schwan, et al., "Reliability Centered Asset Management in Distribution Networks - Process and Application Examples", CIRED 2007.
15. Elektros įrengimų įrengimo taisyklės: Norminis teisės aktas. Vilnius 2011.

16. H. Farhangi. The path of the smart grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, 8(1):18–28, 2010.

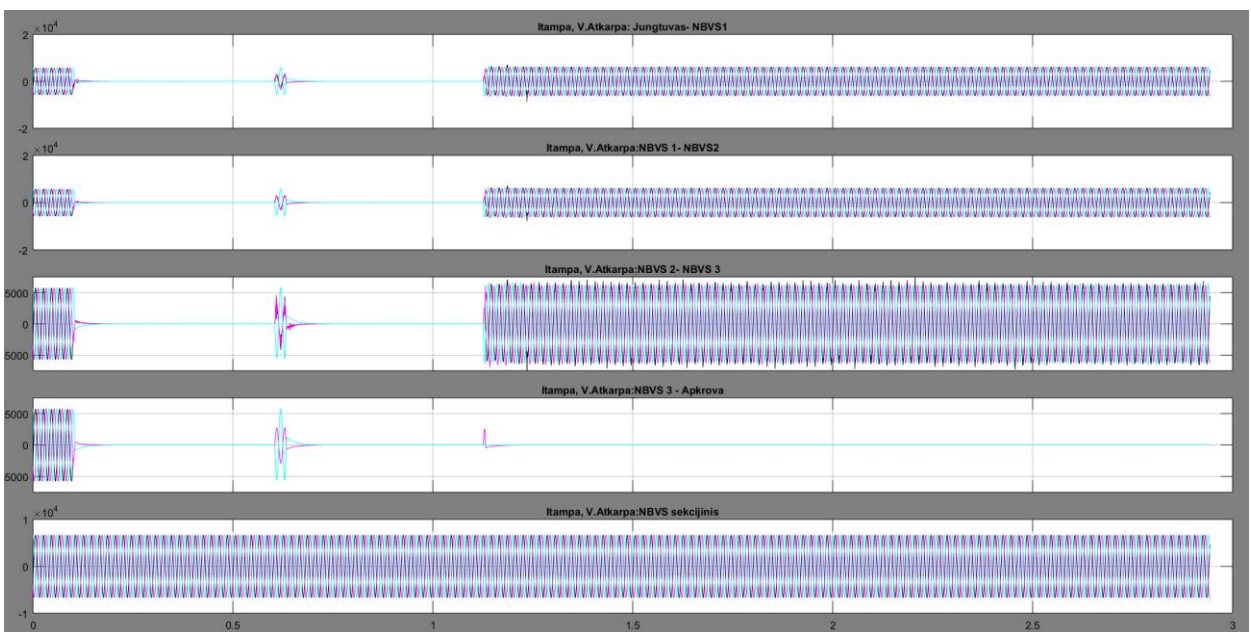
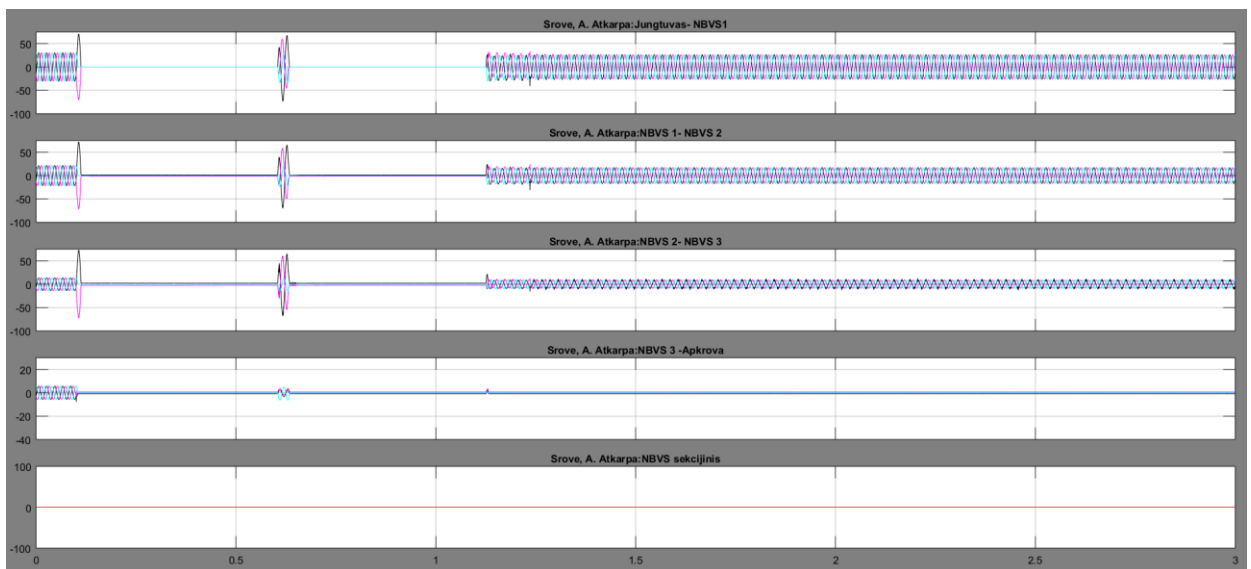
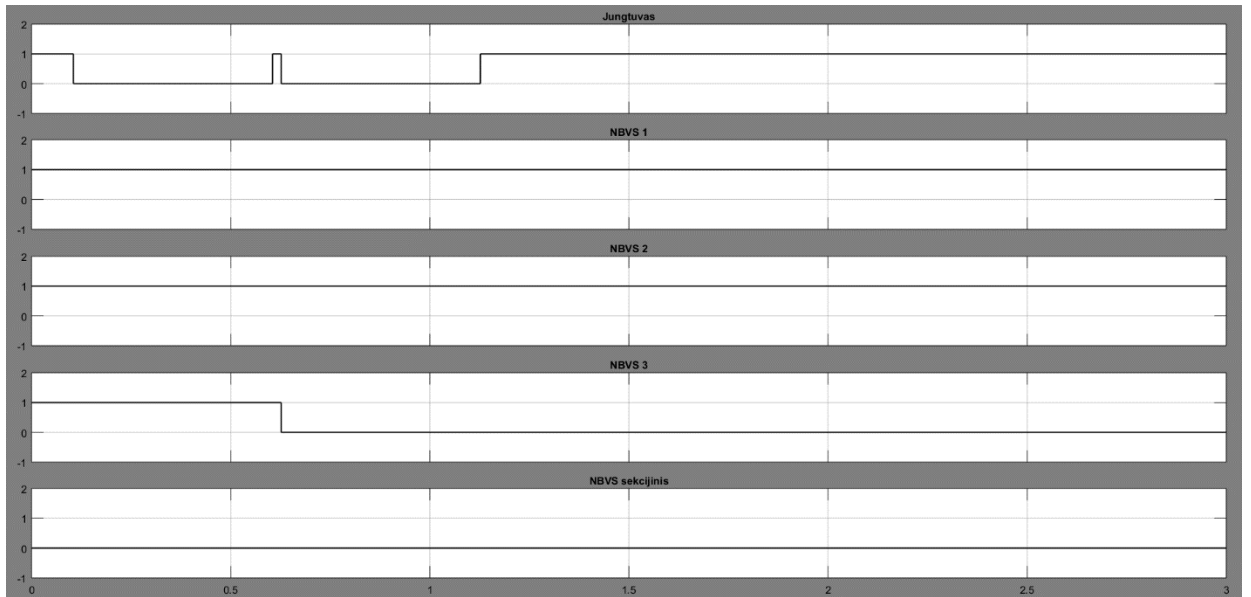
Priedas Nr. 1 Avarija linijoje. Dvifazis trumpas jungimas. Pirma atkarpa



## Priedas Nr. 2 Avarija linijoje. Dvifazis trumpas jungimas. Antra atkarpa



### Priedas Nr. 3 Avarija liniņoje. Dvifazis trumpas jungimas. Ketvirta atkarpa



## Priedas Nr. 4 Avarija atšakoje. Trifazis trumpas jungimas. Pirma atšaka



## Priedas Nr.5 Avarija atšakoje.Trifazis trumpas jungimas. Trečia atšaka.

