



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

IEC61850 standarto pritaikymo galimybių elektros skirstomuosiuose tinkluose tyrimas

Baigiamasis magistro studijų projektas

EMES-7 gr. Simonas Ramanauskas

Projekto autorius

Doc. dr. Renata Miliūnė

Vadovė

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

IEC61850 standarto pritaikymo galimybių elektros skirstomuosiuose tinkluose tyrimas

Baigiamasis magistro studijų projektas

Elektros energetikos sistemos (M3146Q51)

Simonas Ramanauskas

Projekto autorius

Doc. dr. Renata Miliūnė

Vadovė

Doc. dr. Almantas Bandza

Recenzentas

Kaunas, 2019



Kauno technologijos universitetas

Elektros ir elektronikos fakultetas

Simonas Ramanauskas

IEC61850 standarto pritaikymo galimybių elektros skirstomuosiuose tinkluose tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Simono Ramanausko, baigiamasis projektas tema „IEC61850 standarto pritaikymo galimybių elektros skirstomuosiuose tinkluose tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir 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)

Simonas Ramanauskas. IEC61850 standarto pritaikymo galimybių elektros skirstomuosiuose tinkluose tyrimas. Magistro studijų baigiamasis projektas vadovė Doc. dr. Renata Miliūnė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai.

Reikšminiai žodžiai: IEC61850, skirstomasis tinklas, relinė apsauga ir automatika, GOOSE žinutės.

Kaunas, 2019. 59 psl.

Santrauka

Šiame magistriniame darbe atliekama IEC61850 standarto pritaikymo galimybių analizė elektros skirstomajame tinkle. Literatūros analizėje pirmiausia apžvelgiama skirstomajame tinkle naudojama relinė apsauga ir automatika, bei komunikacijos protokolai. Antroji literatūros analizės dalis apžvelgia IEC61850 standartą, kas po juo slepiasi ir ką juo naudojantis galima realizuoti, kaip jį pritaikyti.

Tiriamajoje dalyje tiriamas GOOSE žinučių veikimas pritaikant realioms situacijoms, kada reikalinga sąveika tarp kelių RAA įrenginių naudojant realią įrangą. Naudojantis apsaugų tikrinimo stendu „*Omicron CMC356*“, lyginami gauti rezultatai realizuojant relinės apsaugos ir automatikos funkcijas GOOSE žinutėmis su analogiškai įgyvendinta reline apsauga ir automatika, kada sąsaja tarp relių vyksta binarinių išėjimų ir binarinių įėjimų pagalba. Taip pat naudojantis realia įranga praktiškai eksperimentiškai išbandomas IEC61850 komunikacijos protokolo veikimo principas.

Simonas Ramanauskas. Analysis of Application Possibilities of the IEC 61850 Standard in a Distribution Network. Master's Final Degree Project supervisor Doc. dr. Renata Miliūnė; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Electrical Power Systems.

Study field and area (study field group): Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences.

Keywords: IEC61850, distribution network, relay protection and automation, GOOSE messaging.

Kaunas, 2019. 59 pages.

Summary

In this final Master's degree analysis of application possibilities of the IEC61850 standard in a distribution network is performed. In the theoretical part, firstly the overview of relay protection and automation and communication protocols used in distribution network is done. Second part of theoretical analysis is overview of IEC61850 standard possibilities – how it can be realised and applied.

In the practical part the analysis of GOOSE messaging working principles in real situations, when interaction between two or more relay protection and automation devices is needed, using the practical equipment. Using the relay testing equipment Omicron CMC356, the implemented protection and automation with GOOSE messages is tested and results are compared to usual implementation, when interaction between devices realized with binary outputs and binary inputs. Also using the practical equipment IEC61850 communication protocol is analyzed..

Turinys

Lentelių sąrašas	7
Paveikslų sąrašas	8
Santrumpos ir terminologija	10
Įvadas.....	11
Literatūros šaltinių analizė	12
1. Skirstomasis tinklas.....	12
1.1. Elektros energetikos sistema	12
1.2. Relinė apsauga ir automatika.....	13
1.3. Skirstomojo tinklo relinė apsauga ir automatika	14
1.4. Skirstomajamo tinklo ryšio komunikacijos protokolai.....	16
2. IEC 61850 standartas	18
2.1. Skirtingų gamintojų įrangos suderinamumas	19
2.2. Duomenų modelis 61850 standarte, duomenų perdavimas IEC61850 protokolu.....	19
2.3. GOOSE žinutės	22
2.3.1. Įvadas apie GOOSE žinutes	22
2.3.2. GOOSE veikimo principas	22
2.3.3. GOOSE žinučių greیتaveika ir patikimumas	23
2.4. Paralell redundancy protocol.....	24
2.5. IEC61850 standarto pritaikymo galimybės 6-10kV elektros tinkluose.	26
Literatūros analizės išvados.....	27
Tyrimas.....	28
3. IEC61850 standarto pritaikymo galimybių skirstomajame 6-10kV tinkle analizė.....	28
3.1. Tyrimo priemonės, programinė įranga, įrenginiai.....	28
3.2. Modeliuojama/analizuojama situacija.....	30
3.2.1. RAA nuostatai	30
3.2.2. Analizuojamų įrenginių sujungimo schema	34
3.3. Komunikacijos tarp RAA įrenginių ir RTU įrenginio IEC61850 ryšio protokolu analizė	36
3.4. GOOSE žinučių veikimo ir pritaikymo analizė.....	40
3.4.1. Funkcijų išpildymas binarinių išėjimų ir įėjimų sąveika.....	41
3.4.2. Funkcijų išpildymas GOOSE žinutėmis.....	50
3.4.3. Galimos neigiamas pasekmės taikant IEC61850 standartą	55
3.4.4. Palyginimas tarp bandymo apsaugų išbandymo įprastiniu būdu ir GOOSE žinutėmis.	56
Išvados	57
Literatūros sąrašas	58
Priedai.....	59
1 priedas. RAA įrenginio Nr. 1 (T-11) pajungimo schemas	59
2 priedas. RAA įrenginio Nr. 2 (L-300) pajungimo schemas	59
3 priedas. RAA įrenginio Nr. 1 (T-11) apsaugų nustatymai	Error! Bookmark not defined.
4 priedas. RAA įrenginio Nr. 2(L-300) apsaugų nustatymai	Error! Bookmark not defined.
5 priedas. T-11 logika.....	59
6 priedas. L-300 logika.....	59
7 priedas. R-1 logika.....	59
8 priedas.OMICRON bandymo stendu darytų bandymų pilna ataskaita	59

Lentelių sąrašas

2.1 lentelė IEC61850-5 Ed.2 standarto ryšio atsistatymo laiko delsos reikalavimai.....	24
3.1 lentelė Skiemonių TP 10kV prijunginių RAA nuostatai.....	30
3.2 lentelė IEC standarto kreivių konstantos.....	32
3.3 lentelė 3.5 paveikslėlyje pateiktų įrenginių ir programinės įrangos paskirtis.....	35
3.4 lentelė Įrenginių adresacija	35
3.5 lentelė Srovės ir įtampos dydžiai pirminiais ir antriniais vienetais	36
3.6 lentelė Aktyvuotos RAA apsauginės funkcijos.....	36
3.7 lentelė Binarinio išėjimo poveikio laikai	40
3.8 lentelė ARĮ funkcijos poveikio laiko bandymo nustatymai.....	42
3.9 lentelė JRĮ funkcijos nustatymai	43
3.10 lentelė JRĮ funkcijos poveikio laiko bandymo nustatymai	43
3.11 lentelė LŠA blokavimo laiko bandymo nustatymai	45
3.12 lentelė LŠA poveikio laiko bandymo nustatymai	46
3.13 lentelė T-1 apsaugų poveikio bandymo nustatymai.....	47
3.14 lentelė NA ir NAKĮ poveikio laiko bandymo nustatymai	49
3.15 lentelė Gautų rezultatų 3.4.1 ir 3.4.2 poskyriuose palyginimas	56

Paveikslų sąrašas

1.1 pav.	Elektros energetikos sistemos struktūrinė schema	12
1.2 pav.	Relinės apsaugos įrenginio ryšiai su elektros sistema.....	13
1.3 pav.	Relinės apsaugos įrenginio ir TSPĮ bendras vaizdas.....	14
1.4 pav.	Loginės šynų apsaugos veikimo schema.....	16
1.5 pav.	Komunikaciniai ryšiai skirstomajame tinkle.....	17
2.1 pav.	Skirtingų gamintojų RAA įrenginių suderinamumo principas.....	18
2.2 pav.	Duomenų modelis atvaizduojantis jungtuvo padėtį IEC 61850 protokolu	19
2.3 pav.	„IEDScout“ programinis langas	20
2.4 pav.	Jungtuvo loginio mazgo atvaizdavimas „IEDScout“ programoje.....	20
2.5 pav.	JRĮ funkcijos loginio mazgo atvaizdavimas „IEDScout“ programoje	21
2.6 pav.	Fiziniai IEC61850 ryšio protokolo komunikacijos ryšiai.	21
2.7 pav.	Dalis A – sąveika tarp RAA įrenginių GOOSE žinutėmis, B – sąveika tarp RAA įrenginių signalizacijos kabeliais	23
2.8 pav.	PRP (parallel redundancy protocol) principinė schema.	25
3.1 pav.	„e2Tango-800“ ir „Enilit RTU“ įrenginiai	28
3.2 pav.	IEC normal inverse kreivė.....	31
3.3 pav.	Nustatyto poveikio laiko taškas (NI kreivė).....	32
3.4 pav.	Tiriamos schemos įrenginių sujungimo schema	34
3.5 pav.	Srovinių apsaugų suveikimo selektyvumas.....	36
3.6 pav.	RAA vidinės logikos schema	37
3.7 pav.	Ryšio su RAA įrenginiu Nr. 1 patikrinimas	37
3.8 pav.	SCD failo pririšimas „Enilit CMS“ programinėje įrangoje.....	38
3.9 pav.	Signalų pririšimas 60870-5-103 protokolu „VAMP 300f“ relėje	38
3.10 pav.	T-11 įrenginio duomenų modelis	39
3.11 pav.	T-11 perduodamų signalų langas	39
3.12 pav.	T-11 perduodamų signalų monitoringas.....	39
3.13 pav.	Eksperimentinio tyrimo įranga.....	40
3.14 pav.	T-11 įrenginio ARĮ logika	41
3.15 pav.	L-300 įrenginio ARĮ logika	42
3.16 pav.	ARĮ funkcijos poveikio laiko rezultatai	43
3.17 pav.	JRĮ funkcijos bandymo metu užfiksuotos matavimų kreivės.....	44
3.18 pav.	JRĮ funkcijos poveikio laiko bandymo rezultatai.....	44
3.19 pav.	Loginės šynų apsaugos logika	44
3.20 pav.	LŠA funkcijos bandymo metu užfiksuotos matavimų kreivės.....	45
3.21 pav.	LŠA blokavimo laiko bandymo rezultatai.....	46
3.22 pav.	ŠA poveikio nustatymo bandymo metu simuliuotos matavimų kreivės	46
3.23 pav.	ŠA apsaugos poveikio laikas	47
3.24 pav.	T-1 apsaugų poveikio nustatymo bandymo metu simuliuotos matavimų kreivės	47
3.25 pav.	T-1 apsaugų poveikio laikas.....	48
3.26 pav.	NA ir NAKĮ pagal 110kV logika	48
3.27 pav.	NA ir NAKĮ funkcijos bandymo metu simuliuotos matavimų kreivės.....	50
3.28 pav.	NA ir NAKĮ funkcijos bandymo rezultatai	50
3.29 pav.	Logikoje binarinius elementus, keičiantys GOOSE elementai	51
3.30 pav.	GOOSE žinučių konfigūravimo langas	51

3.31 pav.	T-11 įrenginio ARĮ (GOOSE) logika.....	52
3.32 pav.	L-300 įrenginio ARĮ (GOOSE) logika.....	52
3.33 pav.	ARĮ (GOOSE) funkcijos poveikio laiko rezultatai	53
3.34 pav.	JRĮ (GOOSE) logika L-300 įrenginyje	53
3.35 pav.	JRĮ (GOOSE) logika T-11 įrenginyje	53
3.36 pav.	JRĮ (GOOSE) funkcijos poveikio laiko bandymo rezultatai.....	53
3.37 pav.	LŠA (GOOSE) logika L-300 įrenginyje	54
3.38 pav.	LŠA (GOOSE) logika T-11 įrenginyje	54
3.39 pav.	Loginės šynų apsaugos (GOOSE) blokavimo laikas	54
3.40 pav.	NA ir NAKĮ (GOOSE) logika.....	54
3.41 pav.	NA ir NAKĮ (GOOSE) poveikio laikas	54
3.42 pav.	T-1 apsaugų (GOOSE) poveikio laikas.....	55
3.43 pav.	Neveiksni vietinio tinklo schema	55

Santrumpos ir terminologija

Santrumpos:

RAA — relinė apsauga ir automatika.

IED – (angl. *intelligent Electronic Device*) išmanusis elektroninis įrenginys.

TSPĮ – teleinformacijos ir signalizacijos perdavimo įrenginys.

RTU – (angl. *remote terminal unit*) abonento galinis blokas.

LN – (angl. *logical node*) loginis mazgas.

SCL – (angl. *substation configuration language*) pastočių konfigūravimo kalba.

SCD – (angl. *substation configuration description*) pastočių konfigūravimo apibrėžimas.

SCADA - (angl. *supervisory control and data acquisition*) dispečerinė kontrolė ir duomenų surinkimas.

COM - (angl. *communication port*) komunikacijos sąsaja.

GOOSE – (angl. *generic object oriented substation event*) bendro pobūdžio pastotės įvykis.

PRP – (angl. *parallell redundancy protocol*) lygiagretaus patikimumo protokolas.

MSA – maksimalios srovės apsauga.

ŠA – šynų apsauga.

JRĮ – jungtuvo rezervavimo įrenginys.

ARĮ – automatinis rezervo įjungimas.

AKĮ – automatinis kartotinis įjungimas.

NA – nukrovimo automatika.

NAKĮ – nukrovimo automatikos kartotinis įjungimas.

ADN – automatinis dažnio nukrovimas.

DAKĮ – dažnio automatinis kartotinis įjungimas.

IEC (angl. *international electrotechnical commision*) tarptautinė elektrotechninė komisija

SAS (angl. *substation automation systems*) pastočių automatikos sistemos.

GSE (angl. *generic substation event*) bendrinis pastotinis įvykis.

VLANs (angl. *virtual local area network*)-virtualus vietinis tinklas.

LAN (angl. *local area network*) vietinis tinklas.

Eternetas (angl. *ethernet*) vietinis skaitmeninis tinklas.

Ivadas

Nuolat tobulėja ir sparčiai vystosi šiuolaikinės technologijos, todėl auga vartotojų poreikis ir priklausomybė nuo stabilaus, patikimo ir nenutrūkstamo elektros energijos tiekimo. Elektros energetikos sektorius yra skatinamas plėstis, plečiant elektros tinklą ir rekonstruojant esamas pastotes. Užtikrinti, kad elektra pasiektų vartotojus 24 valandas per parą yra būtinas elektros energetikos sistemos lankstumas įvykus planiniams (remontas, priežiūros darbų ar dėl kitų priežasčių) ar neplaniniams (avariniams) energetinių objektų (elektrinių, transformatorių pastotės, elektros perdavimo linijos) atsijungimams iš elektros tiekimo sistemos. Sklandžiam ir efektyviam elektros energijos tiekimui naudojami relinės apsaugos ir automatikos įrenginiai, kuriems reikia minimalaus personalo įsikišimo valdant elektros tinklą.

RAA įrenginiuose pritaikomi sprendimai taip pat tobulėja ir keičiasi. Viena iš naujovių būtų – tarptautinis IEC61850 standartas pastočių ryšių sistemoms. Standarte plačiai aprašomi kokie turi būti principai perduodant informaciją į teleinformacijos ir signalizacijos perdavimo įrenginius, RAA įrenginių sąveika tarpusavyje GOOSE (angl. *generic object oriented substation event*) žinutėmis, patikimumo užtikrinimas įdiegiant PRP (angl. *parallel redundancy protocol*) funkciją, bei taip pat viena iš pagrindinių šio standarto siekiamybių – sąveikos suderinamumas tarp skirtingų gamintojų RAA įrenginių. Pritaikant IEC61850 standartą protokolą atsiveria naujos pritaikymo sprendimų galimybės projektuojant, konfigūruojant ir derinant RAA bei TSPĮ įrenginius.

Šiame magistriniame darbe bus analizuojama, kaip ir kokiose situacijose galima pritaikyti IEC61850 standartą realizuojant elektros skirstomojo tinklo relinę apsaugą ir automatiką. Literatūrinės analizės dalyje, atliekama analizė, kokios apsauginės ir automatikos funkcijos naudojamos skirstomajame elektros tinkle ir kaip jos veikia, kas sudaro IEC61850 standartą. Praktiškai eksperimentuojant išbandomas GOOSE žinučių pritaikymas realizuojant skirstomojo tinklo relinę apsaugą ir automatiką, siekiant išsiaiškinti kokius pranašumus duoda IEC61850 standartą, bei įvertinti potencialias problemas, kurios gali iškilti naudojant IEC61850 ryšio protokolą.

Darbo tikslas:

Ištirti IEC61850 standarto suteikiamas galimybes ir jo pritaikymas 6-10kV skirstomiesiems elektros tinklams. Eksperimentuojant įvertinti GOOSE žinučių suteikiamą spartą išpildant skirstomojo tinklo relinės apsaugos ir automatikos funkcijas.

Darbo uždaviniai:

1. apžvelgti skirstomajame tinkle naudojamą relinę apsaugą ir automatiką.
2. apžvelgti pagrindinius IEC61850 standarto akcentus.
3. išanalizuoti IEC61850 standarto pritaikymo galimybes 6-10kV elektros tinkluose.
4. praktiškai išanalizuoti IEC61850 komunikaciją tarp RAA ir RTU įrenginių.
5. eksperimentiškai išanalizuoti ir išbandyti GOOSE žinučių veikimą, palyginant su įprasta RAA apsaugų ir funkcijų išpildymo metodika.
6. įvertinti potencialias problemas, kurios gali iškilti pritaikant IEC61850 standartą.

Literatūros šaltinių analizė

1. Skirstomasis tinklas

1.1. Elektros energetikos sistema

Elektros energetikos sistema – tai tarpusavyje sujungtų oro ir kabelių elektros linijų, pastočių, transformatorių, skirstyklų, skirtų elektrą perduoti ir skirstyti darinys. Pagaminta elektra per perdavimo ir skirstomojo tinkle esančiais komutaciniais įrenginiais patenka į aukštosios įtampos elektros tinklą ir paskirstoma vartotojams. Elektros tinklas yra tarpinė grandis tarp šaltinio ir vartotojo.



1.1 pav. Elektros energetikos sistemos struktūrinė schema

Skirstomieji elektros tinklai tai visuma elektrinių tinklų taip pat vartotojų, susijusių su nepertraukiama elektros gamyba, perdavimu, paskirstymu ir naudojimu. Elektros tinklų pagrindinis uždavinys – patikimai ir ekonomiškai aprūpinti vartotojus kokybiška elektros energija. Skirstomieji tinklai yra 6-10kV įtampos.

Vartotojų gyvenimo būdas tampa vis labiau priklausomas nuo elektronikos prietaisų. Žmogus kasdien yra priklausomas nuo pastovaus elektros energijos tiekimo. Tai įvairūs prietaisai, kurie prasideda nuo įprastų buitinių įrenginių, duomenų tinklų iki gyvybiškai svarbios įrangos esančios ligoninėse.

Vartotojai pagal elektros aprūpinimo patikimumo lygį skirstomi į šias kategorijas:

- 1-osios kategorijos vartotojai - dėl jų nutrūkusių elektros tiekimui, kyla grėsmė žmonių gyvybei, kai yra patiriama didelių materialinių nuostolių, arba sutrinka sudėtingi technologiniai procesai.
- 2-osios kategorijos vartotojai - dėl jų nutrūkusių elektros tiekimui, patiriama produkcijos gamybos nuostolių, susidaro masinės darbuotojų mechanizmų ir transporto prastovos.
- 3-osios kategorijos vartotojai – visi kiti elektros vartotojai.

Elektros tinklas turi būti toks, kad:

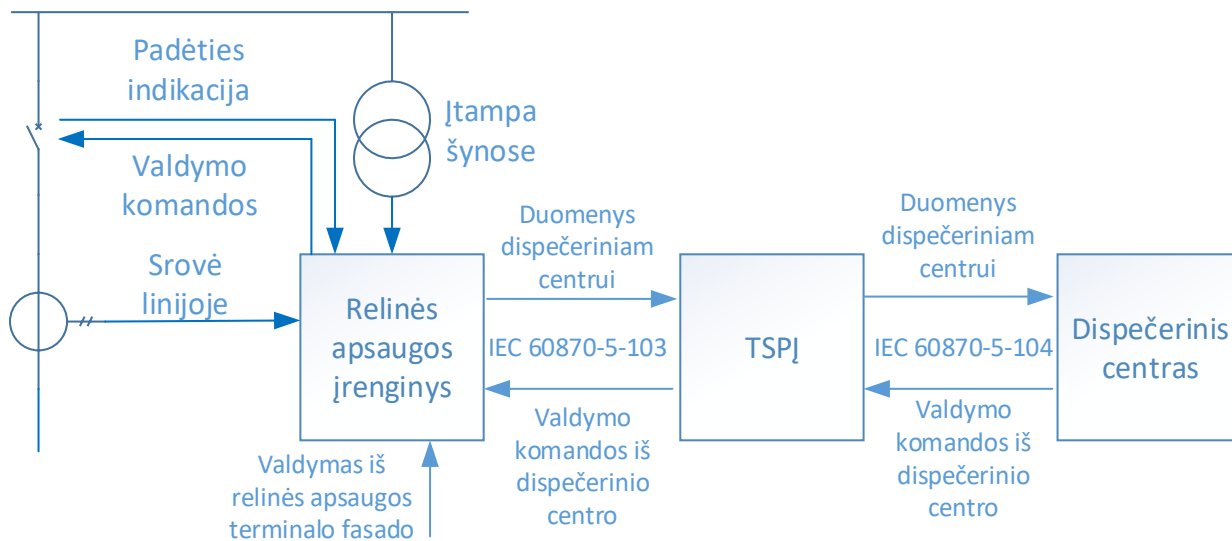
- 1-osios kategorijos elektros vartotojai turi būti aprūpinti elektra iš dviejų atskirų nepriklausomų šaltinių, o elektros tiekimas jiems gali būti nutraukiamas tik rezervinio maitinimo automatinio įjungimo laiku.
- 2-osios kategorijos elektros vartotojų aprūpinti elektra rekomenduojama iš dviejų šaltinių.

- 3-osios kategorijos vartotojams leidžiama tiekti elektrą iš vieno šaltinio, jeigu yra galimybė per 24 valandas atlikti pažeistų tinklo elementų remontą arba juos pakeisti naujais.
- 3-osios kategorijos vartotojams aprūpinimas elektros energija turi būti atkurtas per 24 valandas (išskyrus atvejus, kai objektyviai reikalingas ilgesnis laikas gedimui, sutrikimui ar avarijai pašalinti, ar atliekamas remontas).
- 2-osios aprūpinimo elektra patikimumo kategorijos elektros energijos tiekimo nutraukimas paprastai turi būti ne ilgesnis nei 6 valandos, jeigu sutartis nenustato kitokio laikotarpio.
- 1-ajai kategorijai elektros energija turi būti atstatyta ne per ilgesnį laiką kaip 2,5 valandos laikotarpį.

1.2. Relinė apsauga ir automatika

Dėl įvairių aplinkos veiksnių, elektros sistemoje atsiranda įvairių gedimų, dažniausiai nutinkantis gedimas – trumpasis jungimas. Įvykus trumpajam jungimui elektros tinkluose teka didelės srovės, kurios žalingai veikia elektros įrenginius – juos gali nepataisomai sugadinti, gali kristi elektros tinklo įtampa. Dėl to trumpieji jungimai turi būti greitai pašalinami atjungiant nuo elektros tinklo pažeistą elementą. Šią funkciją atlieka specialūs automatiniai įrenginiai, vadinami reline apsauga.

Relinė apsauga yra įrenginys ar įrenginių blokas, prijungtas prie linijos per srovės ir įtampos matavimo transformatorius, gaunantys informaciją, jungtuvo, skyriklio, skyriklio vežimėlio, įžemiklio, valdymo raktų, automatinų jungiklių ir kitų prietaisų padėtis ir indikacijas, taip pat – galintys įjungti ir išjungti jungtuvus. Relinės apsaugos terminalai taip siunčia informaciją perdavimo ir skirstomojo tinklo dispečeriniams centrams apie linijų režimo parametrus (įtampos, srovės, galios), komutacinių įrenginių padėtis, apsaugų poveikio pranešimai.



1.2 pav. Relinės apsaugos įrenginio ryšiai su elektros sistema

Yra keturi pagrindiniai reikalavimai, kurie yra keliami relinei apsaugai:

1. selektyvumas – tai automatinio įtaiso gebėjimas tiksliai nustatyti objektą, kuriame įvyko gedimas ir jį likviduoti valdant (išjungiant) sugedusį objektą. Šis reikalavimas labai svarbus elektros sistemose, kadangi jau minėta, kad gedimas viename objekte pakeičia srovės ir įtampas kaimyniniuose objektuose. Selektivitymo reikalavimas griežčiausiai taikomas relinės apsaugos įtaisams. Kai kurie įtaisai yra selektyvūs pagal veikimo principą, kiti selektyviai veikia tik tai suderinus automatinų įtaisų parametrus.

2. jautrumas – tai automatinio įtaiso gebėjimas tinkamai reaguoti į kontroliuojamų dydžių pasikeitimus, kurie reikalauja valdymo poveikio į įrenginį. Relinės apsaugos įtaisuose jautrumas nusako jų sugebėjimą atskirti avarinius režimus nuo normaliųjų režimų. Jis įvertinamas nustatytais jautrumo koeficientais.
3. Greitaveika – charakterizuojamas reakcijos trukme. Jis pageidaujamas visais atvejais. Pavyzdžiui, dabartinės technologijos įgalina išjungti gedimą per 0,06 sekundės įskaitant relinės apsaugos ir jungtuvo suveikimo trukmę. Tačiau greitas veikimas brangiai kainuoja. Todėl šis reikalavimas turi būti taikomas diferencijuotai atsižvelgiant į konkrečias sąlygas. Kai kuriems objektams leistina relinės apsaugos suveikimo trukmė gali siekti keletą sekundžių; generatorių dažnio reguliatorių reakcijos trukmė gali būti 30 sekundžių.
4. patikimumas – tai automatinio įtaiso gebėjimas vykdyti nustatytas funkcijas išlaikant eksploatacinius rodiklius leistinose ribose iš anksto numatytime laikotarpyje. Reliniams įtaisams numatytų funkcijų nevykdymas gali būti reakcijos nebūvimas atsiradus gedimams objekte arba nereikalinga reakcija nesant gedimo. Patikimumas vertinamas apskaičiuojant tikimybinus rodiklius atskirų įtaisų grupėms. Kadangi automatinųjų įtaisų gedimai yra realiai tikėtini būtina, numatyti jų nuolat veikiančią rezervavimą. Tai pirmiausiai taikoma relinės apsaugos įtaisams. Kitų įtaisų, pvz. reguliatorių, veikimas turi būti stabdomas atsiradus jų gedimams ir apie tai signalizuojama aptarnaujančiam personalui.

Suveikus relinei apsaugai, ne tik atjungiamas sugedęs elektros sistemos elementas, bet taip pat yra signalizuojama apie susidariusią nenormalią (avarinę) būseną perduodant informaciją į dispečerinę arba vietinę indikacinę LED signalizaciją relės fasade (1.3 pav.).



1.3 pav. Relinės apsaugos įrenginio ir TSPI bendras vaizdas

1.3. Skirstomojo tinklo relinė apsauga ir automatika

Skirstomajame tinkle, siekiant apsaugoti eksploatuojamus įrenginius, izoliuojant juos, bei tinklą nuo įvykusios avarijos (trumpojo jungimo), yra naudojamas šios apsauginės funkcijos:

- 2-3 laiptų maksimalios srovės apsauga (MSA) – reaguoja į srovės padidėjimą. Trumpųjų jungimų metu srovės daugeliu atvejų yra didesnės linijų darbo srovės. Kad maksimalios srovės apsauga tenkintų jautrumo reikalavimus relės suveikimo srovė I_S turi būti didesnė už didžiausią galimą linijos darbo srovę I_{Lmax} tačiau mažesnė už minimalią trumpojo jungimo srovę I_{Kmin} saugioje zonoje - $I_{Kmin} > I_S > I_{Lmax}$.

- atkirta – tai maksimalios srovės apsauga, kurios suveikimo srovė skaičiuojama pagal didžiausią trumpo jungimo srovę saugomos zonos gale, ji gali veikti be uždelsimo ir suveikti greitai.
- MSA su minimalios įtampos blokuote – tai gedimo atsiradimo fiksavimas ne tik pagal srovės padidėjimą linijoje, bet ir pagal įtampos sumažėjimą šynose.
- MSA greitinimas – tai maksimalios srovės apsauga, kada tam tikrą laiko tarpą po jungtuvo įjungimo yra pagreitinamas MSA poveikis laikas.
- srovės perkrovimo apsauga – apsauga atjungianti įrenginius, kada jie nustatytą laiką dirba maksimaliu režimu.
- narvelio lanko apsauga – tai apsauga sauganti narvelio skyriuje esančius įrenginius nuo atsiradusio elektrinio lanko narvelio skyriuje, jis užfiksuojamas su specialiu elektros lanko žybsnį fiksuojančiu įrenginiu.

Skirstomajame naudojama režiminė automatika:

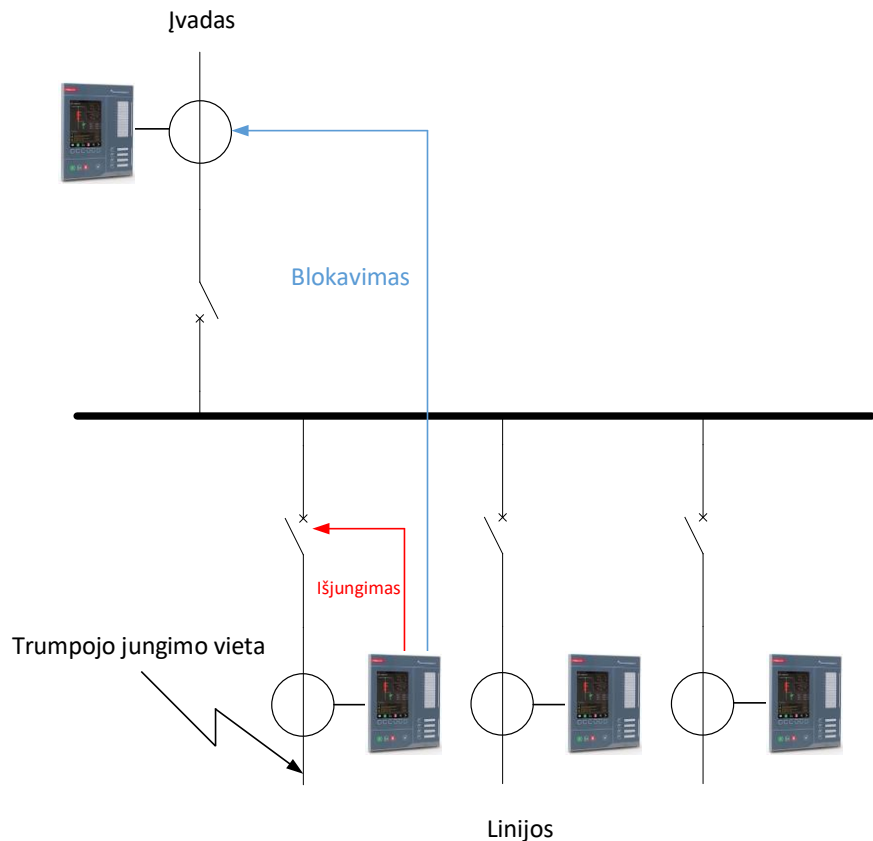
- automatinis kartotinis įjungimas (AKĮ) – tai greitas relinės apsaugos išjungtų elektros sistemos objektų (linijų) įjungimas, nedalyvaujant operatoriui. AKĮ dažniausiai naudojamas oro linijoms, kadangi daugelis jų gedimo priežasčių savaime išnyksta savaime, trumpam nutraukus įtampą.
- automatinis rezervo įjungimas (ARĮ) – tai kai greitai įjungiamas rezervinis maitinimo šaltinis, kai dėl gedimo ar kitų priežasčių išjungiamas pagrindinis maitinimo šaltinis. Maitinimo šaltinis šiuo atveju gali būti elektros liniją, transformatorius ar greta esančios skirstymo šynos (šynų sekcijos). ARĮ naudojamas skirstomuosiuose elektros tinkluose siekiant padidinti elektros tiekimo patikimumą.

Skirstomojo tinklo priešavarinė automatika:

- automatinis dažnio nukrovimas (ADN) – tai greitas elektros vartotojų apkrovų išjungimas prasidėjus avariniam dažnio mažėjimui - <50Hz.
- nukrovimo automatika (NA) – tai elektros vartotojų apkrovų išjungimas nukritus įtampai iki nustatytos vertės.

Skirstomajame tinkle naudojamos bendros apsaugos:

- loginė šynų apsauga (ŠA) – funkcija, kuri leidžia selektyviai likviduoti trumpą jungimą vykstantį linijoje, kada nueinančių linijų maksimalios srovės apsauga blokuoja įvadą saugančios RAA įrenginio maksimalios srovės apsaugą. Loginė šynų apsaugos schema pavaizduota 1.4 pav.



1.4 pav. Loginės šynų apsaugos veikimo schema

- jungtuvo rezervavimo įrenginys (JRI) – funkcija, kai nesėkmingai įvyksta jungtuvo išjungimas, todėl yra išjungiamas aukštesnis maitinimo įrenginys.
- šynų lanko apsauga – saugo šynas nuo atsiradusio elektrinio lanko šynų skyriuje, jis užfiksuojamas su specialiu elektros lanko žybsnį fiksuojančiu įrenginiu.

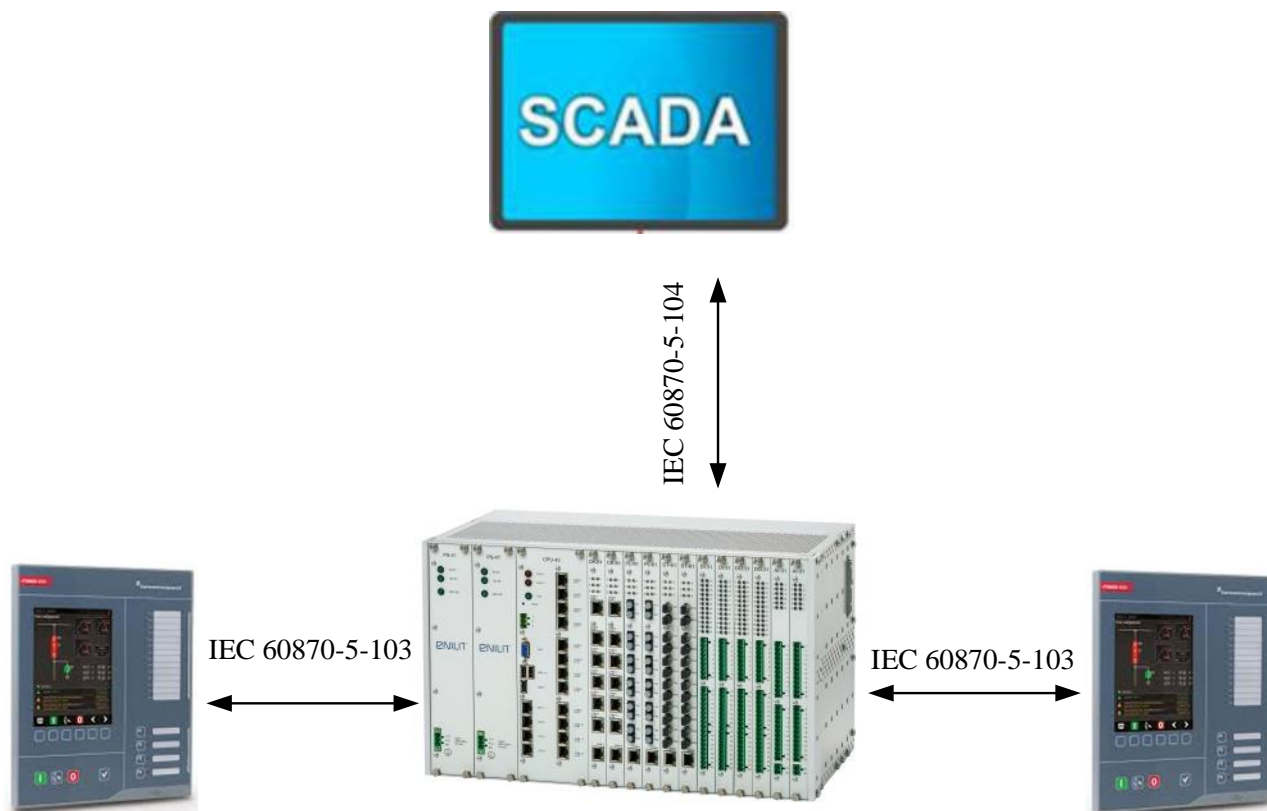
Skirstomojo tinklo atstatymo automatika:

- ADN atstatymas (DAKI) – tai vartotojų prijungimas atgal į tinklą po automatinio dažnio nukrovimo apsaugos suveikimo, dažniui sistemoje atsistačius į nominalią vertę.
- NA atstatymas (NAKI) – tai vartotojų prijungimas atgal į tinklą po nukrovimo automatikos apsaugos suveikimo, įtampai sistemoje atsistačius į nominalią vertę.

1.4. Skirstomajame tinklo ryšio komunikacijos protokolai

Šiuo metu skirstomajame tinkle iš RAA įrenginių teleinformacijai į dispečerinę sistemą ir komandoms iš dispečerinės sistemos perduoti naudojami šie komunikacinių ryšių protokolai:

- IEC 60870-5-101 SCADA (angl. *supervisory control and data acquisition*) ir IEC 60870-5-104 SCADA - šiais ryšių protokolais perduodama teleinformacija iš TSPĮ įrenginių į SCADA, ir perduodamos komandos į TSPĮ įrenginius iš SCADA sistemos.
- IEC 60870-5-103 RAA - šiuo ryšių protokolu perduodama teleinformacija iš RAA įrenginių į TSPĮ, ir perduodamos komandos į RAA įrenginius iš TSPĮ.



1.5 pav. Komunikaciniai ryšiai skirstomajame tinkle

Natūralu, kad rekonstruojant esamas senas, statant naujas pastotes ir skirstyklas, bus pradėti naudoti naujausi techniniai sprendimai. Todėl galima daryti prielaidą, jog anksčiau ar vėliau IEC 61850 standartas bus pradamas naudoti ir skirstomajame tinkle, todėl galima išanalizuoti kas jį sudaro, jo pritaikymo galimybes, veikimo principus.

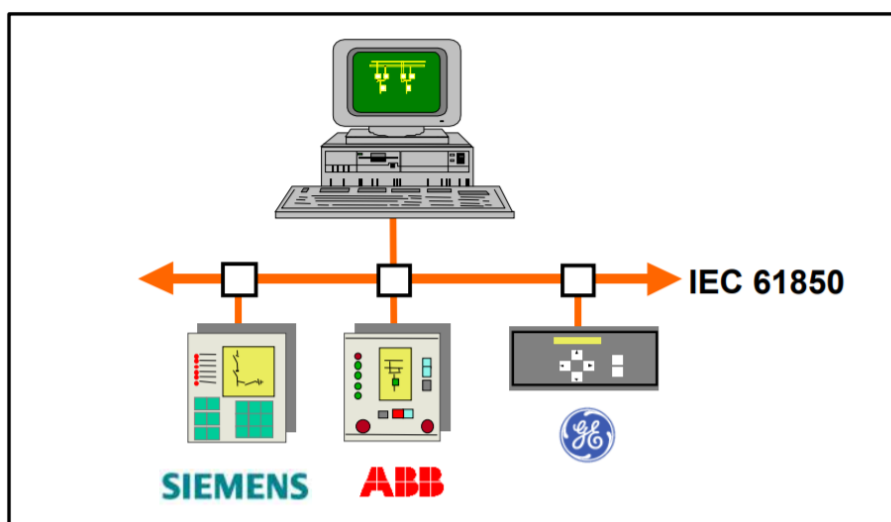
2. IEC 61850 standartas

IEC 61850 yra naujausias tarptautinis ryšių pastotėse standartas. Jis užtikrina visų apsauginių, kontrolės, matavimo ir stebėjimo funkcijų integraciją pastotėje bei papildomas priemones naudoti didelio greičio pastočių apsaugą, blokuotes ir atjungimą. Eterneto (angl. *ethernet*) jungtis leidžia užtikrinti našumą ir saugumą, kuris yra būtinas reikalavimas šiuolaikinėms pastotėms.

Iškylus eterneto pagrindu pagrįstoms technologijoms, kyla poreikis pastočių komunikacijos protokolams, kurie yra universalūs, greito veikimo ir daugiausia pritaikyti pastočių automatikai. IEC61850 protokolas suteikia vieną geriausių inžinerinių bazių pastočių automatikai, relinei apsaugai, monitoringui, matavimams ir testavimui.

Kaip ir minėta prieš tai, IEC61850 yra eterneto pagrindu pagrįstas apsauginis protokolas, kuris naudojamas pastočių automatikos duomenims surinkti, automatikai ir kai kurioms apsaugos funkcijoms. Palyginus su kitais komunikacijos protokolais (103, MODBUS, DNP ir kt.) šis komunikacijos protokolas yra greitas, patikimas ir gali apdoroti daugiau duomenų.

IEC 61850 yra daugiau nei vien tik komunikacijos protokolas, jis taip pat teikia naudos inžinerijos ir techninės priežiūros srityse, taip pat ypač tai galima akcentuoti įvairių gamintojų įrenginių suderinamumo klausimu.



2.1 pav. Skirtingų gamintojų RAA įrenginių suderinamumo principas

Kaip pagrindines kertines IEC 61850 standarto dalis, galima išskirti penkis punktus:

1. skirtingų gamintojų įrangos suderinamumas.
2. standartizuotas duomenų perdavimas.
3. GOOSE žinutės.
4. PRP.
5. išmatuotų verčių (matavimų) perdavimas protokolu.

2.1. Skirtingų gamintojų įrangos suderinamumas

Vienas IEC 61850 standarto punktų nurodo, kad visi IED (angl. *intelligent Electronic Device*) įrenginiai turi būti laisvai suderinami, t.y. laisvai keistis informacijos duomenų srautais ir ją tinkamai operuoti, nepriklausomai nuo gamintojo tipo.

Pagrindinis IEC61850 standarto tikslas yra apibrėžta funkcionalumo architektūra, ryšių komunikacijos struktūra pagal pastočių relinės apsaugos ir automatikos reikalavimus. Šis standartas apibrėžia komunikaciją tarp RAA įrenginių ir dispečerinių centrų (vertikali komunikacija) ir komunikaciją tarp dviejų ar daugiau RAA įrenginių tarpusavyje (horizontali komunikacija).

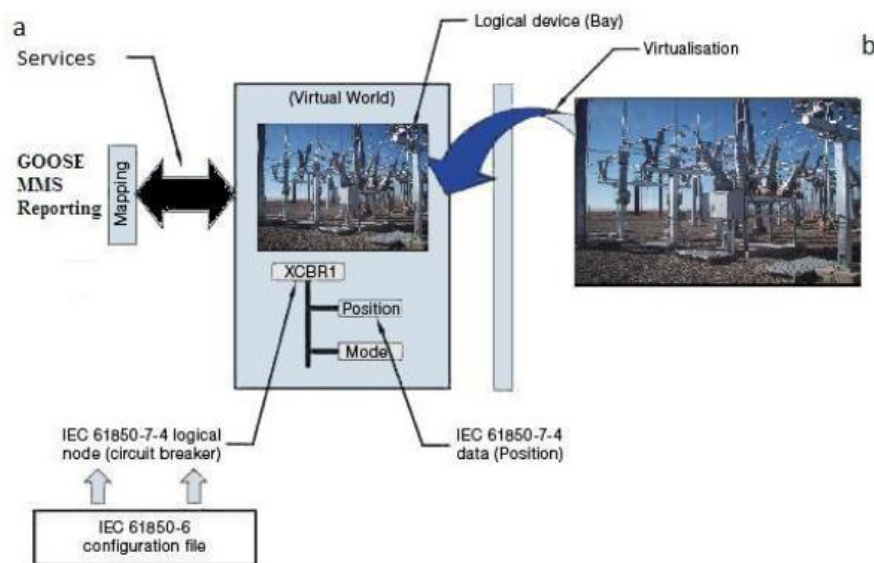
Tikslas pasiekti pastočių lygmens funkcijų (blokuočių, apsaugos, automatikos ir valdymo) sėkmingą funkcionalumą tarp skirtingų gamintojų įrenginių yra vienas iš pagrindinių tikslų, kurių iškelia IEC61850 standartas. Visgi, pasiekti sėkmingą komunikaciją tarp skirtingų RAA įrenginių gamintojų palaikančių IEC61850 nėra paprasta užduotis.

Atlikties bandymas (angl. *conformance testing*) yra dalis produkto testavimo. Tai yra įrenginio komunikacinės dalies testavimas, atlikties testavimus dažniausiai atlieka pats gamintojas siekiant išsiaiškinti ar įrenginys atitinka techninius reikalavimus, nustatytus IEC61850 standarte.

2.2. Duomenų modelis 61850 standarte, duomenų perdavimas IEC61850 protokolu

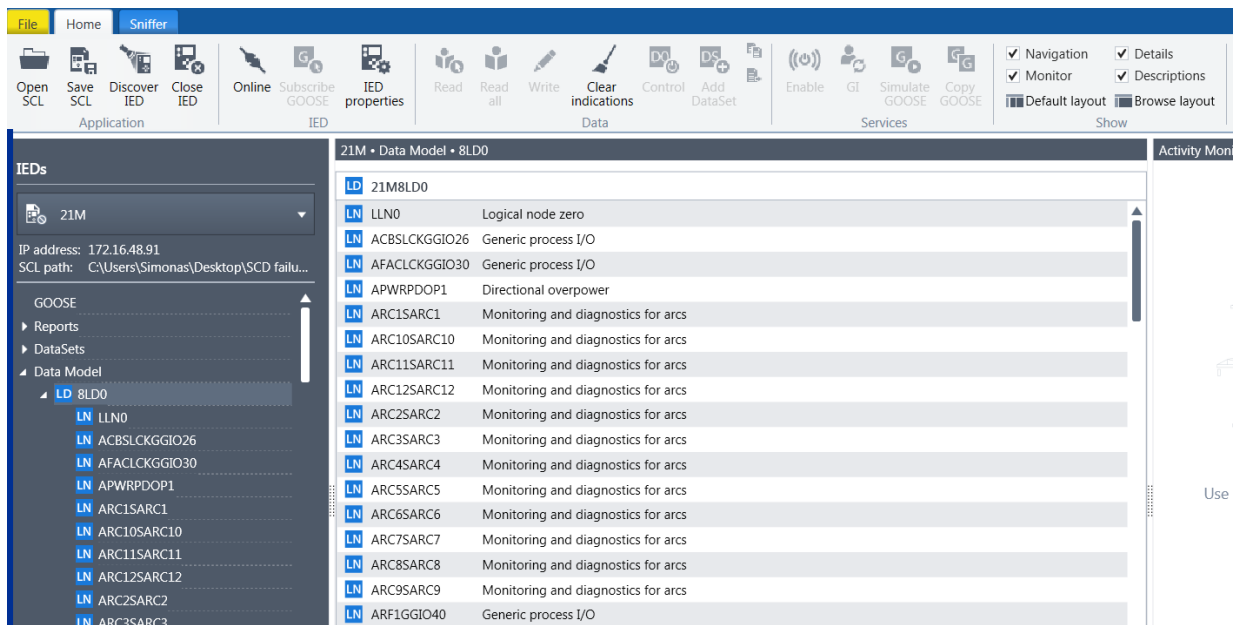
Vienas iš šio standarto reikalavimų yra, kad IED įrenginiai būtų laisvai konfigūruojami naudojant standartizuotą konfigūravimo kalbą. Vadinasi, visi įrenginiai turi palaikyti bendrą, XML pagrindu paremtą, pastočių konfigūravimo kalbą SCL (angl. *substation configuration language*), kurią naudojant, visi įrenginiai sujungiami į vieną sistemą.

Šiame protokole svarbiausia yra fizinių atributų duomenų modeliavimas, kuriam yra būdingas konkrečių fizinių objektų ar funkcijų orientuotas modeliavimas. Iš pagrindų, visos žinomos funkcijos pastočių relinės apsaugos ir automatikos sistemoje yra identifikuotos ir išskirstytos į subfunkcijas – LN (angl. *logical node*). Šie loginiai mazgai yra smulkiausia funkcijos dalis, kuri perduoda duomenis siekiant įvykdyti funkciją.



2.2 pav. Duomenų modelis atvaizduojantis jungtuvo padėtį IEC 61850 protokolu

Šiems loginiams mazgams nagrinėti yra XML baze sukurta SCL kalba – .scd (angl. *substation configuration description*) tipo failai, kurie iš relinės apsaugos ir automatikos ar automatikos įrenginio dirbančio IEC61850 protokolu nuskaityti specialia programine įranga – ar tai būtų RAA įrenginio konfigūravimo programinis paketas ar nepriklausoma programinė įranga kaip „IEDSCOUT“ (2.3 pav), kuri gali nuskaityti bet kokio įrenginio .scd tipo failą. Tada galima vykdyti RAA įrenginių monitoringą, stebėti vykstančius duomenų informacijos mainus (GOOSE žinutės), perduodamą informaciją į SCADA sistemą IEC 61850 ryšio protokolu ar išbandyti valdymo komandas.



2.3 pav. „IEDScout“ programinis langas

Kaip pavyzdį, galima imti transformatoriaus apsaugą, kurios subfunkcija yra maksimali srovės apsauga, antros, penktos harmonikos blokuotės, o galutinis funkcijos veiksmas yra išjungti jungtuvą ir perduoti informaciją į signalizaciją ir SCADA sistemą. Visi šie komponentai sudaro funkciją ir visi šie elementai priklauso transformatoriaus apsaugos loginiam mazgui.

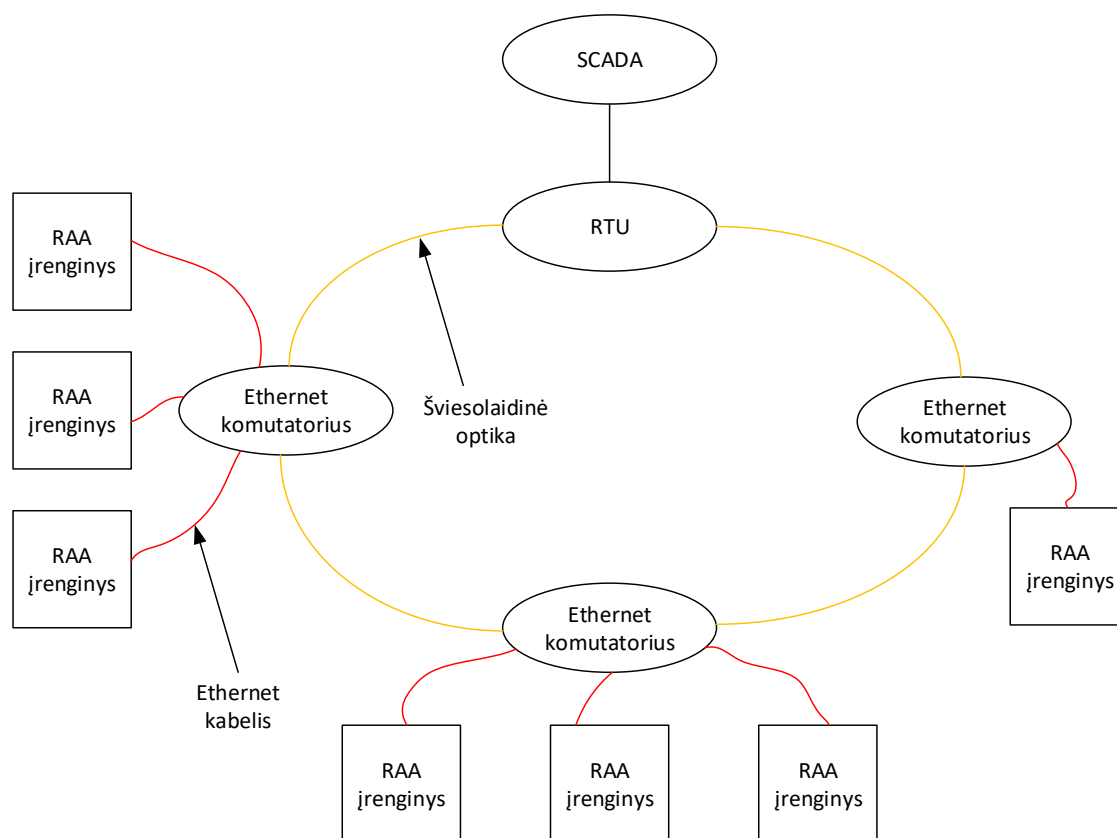
21M • Data Model • 8LD0 • L1XCBR1		
LN L1XCBR1 Circuit breaker		
Name	Description	Value
DO Mod	Mode	
DO Beh	Behaviour	
DO Health	State of the logical node related HW and SW	
DO Loc	Local control behaviour	
DO OpCnt	Operation counter	
DO Pos	Switch status or position	
DO BlkOpn	Block opening	
DO BlkCls	Block closing	
DO CBOpCap	Circuit breaker operating capability	
DO NamPlt	Name plate	Elektrometal Energetyka SA

2.4 pav. Jungtuvo loginio mazgo atvaizdavimas „IEDScout“ programoje

Loginis mazgas yra elementas, nusakantis tam tikrą funkciją / elementą ir tam tikrus veiksnius aprašančius tą funkciją ar elementą, kaip (2.4 pav) loginiu mazgu atvaizduotas fizinis objektas – jungtuvas „XCBR“. Šį loginį mazgą nusako tokie duomenys kaip pozicija (Pos) – įjungtas / išjungtas / tarpinė / klaidinga, įjungimo blokavimas (BlkOpn), išjungimo blokavimas (BlkCls), duomenų kokybė (q), laiko žymė (t) ir kiti elementai. Komunikacija tarp loginių mazgų vadinama logine komunikacija. Kaip apsauginės funkcijos pavyzdys, pavaizduota (2.5 pav.) loginiu mazgu atvaizduota JRĮ funkcija. Loginiame mazge aprašomi tokie veiksniai kaip JRĮ tipas (išorinis ar išeinantis), ar funkcija aktyvi, duomenų kokybė (q), laiko žymė (t) ir kiti elementai.

21M • Data Model • 8LD0 • CBRBRF1		
LN CBRBRF1 Breaker failure		
Name	Description	Value
▶ DO Mod	Mode	
▶ DO Beh	Behaviour	
▶ DO Health	State of the logical node related HW and SW	
▶ DO OpEx	Breaker failure trip (external trip)	
▶ DO OpIn	Operate, retrip (internal trip)	
▶ DO NamPlt	Name plate	Elektrometal Energetyka SA

2.5 pav. JRĮ funkcijos loginio mazgo atvaizdavimas „IEDScout“ programoje



2.6 pav. Fiziniai IEC61850 ryšio protokolo komunikacijos ryšiai.

Kaip pavaizduota pav. 2.6 RAA arba kiti automatikos įrenginiai yra prijungiami prie eternetinio pagrindo komutatorių, komutatoriai sujungti tarpusavyje ir galiausiai sujungti prie duomenų koncentratoriaus (RTU), kuris yra jungiamas prie SCADA sistemos į kurią perduodami norima / reikalinga teleinformacija.

2.3. GOOSE žinutės

2.3.1. Įvadas apie GOOSE žinutes

Tarptautinis komunikacijos standartas įrenginiams pastotėse IEC 61850 yra žymiai prisidėjęs prie to, kaip yra įgyvendinamas komunikacijos procesas ir informacijos apsikeitimas elektros pastotėse. Vienas iš šio komunikacijos standarto uždavinių yra užtikrinti sąveiką tarp įrenginių, pagamintų skirtingų gamintojų. Laiko požiūriu svarbiems įvykiams (elektrinių įrenginių apsauga), yra naudojamos GOOSE žinutės, žinutės tarp įrenginių perduodamos vietiniu eterneto tinklu.

Įrenginiai pastotėse evoliucionavo nuo senųjų elektromechaninių relių iki mikroprocesorinių relių. Eterneto technologija tapo natūralia šios evoliucijos dalimi. Su virtualių vietinių tinklų atsiradimu (angl. *VLAN – virtual local area network*), didėjant duomenų / informacijos perdavimo greičiams ir perduodamo srauto valdymui, eterneto technologija tapo patikimu variantu, kurį galima pritaikyti pastotėse.

IEC 61850 standartas apima / išskiria dvi grupes ryšio funkcijų / paslaugų tarp įrenginių pastočių automatikos sistemoje SAS (angl. *substation automation systems*). Pirmoji IEC61850 standarto grupė (IEC 61850-7-1) naudoja kliento - serverio tipo modelį, perduoti informacijai ir vykdyti nuotoliniam valdymui. Antroji grupė naudoja tarpusavio ryšio (angl. *peer – to - peer*) modelį GSE reikmėms susijusioms su greitaveikėmis funkcijomis, kaip greita ir patikima komunikacija tarp RAA įrenginių apsauginių funkcijų reikmėms. IEC 61850-8-1 standarto dalyje, aprašomi GOOSE pranešimai, leidžiantys transliuoti daugiaadresinius pranešimus vietiniame tinkle (LAN).

2.3.2. GOOSE veikimo principas

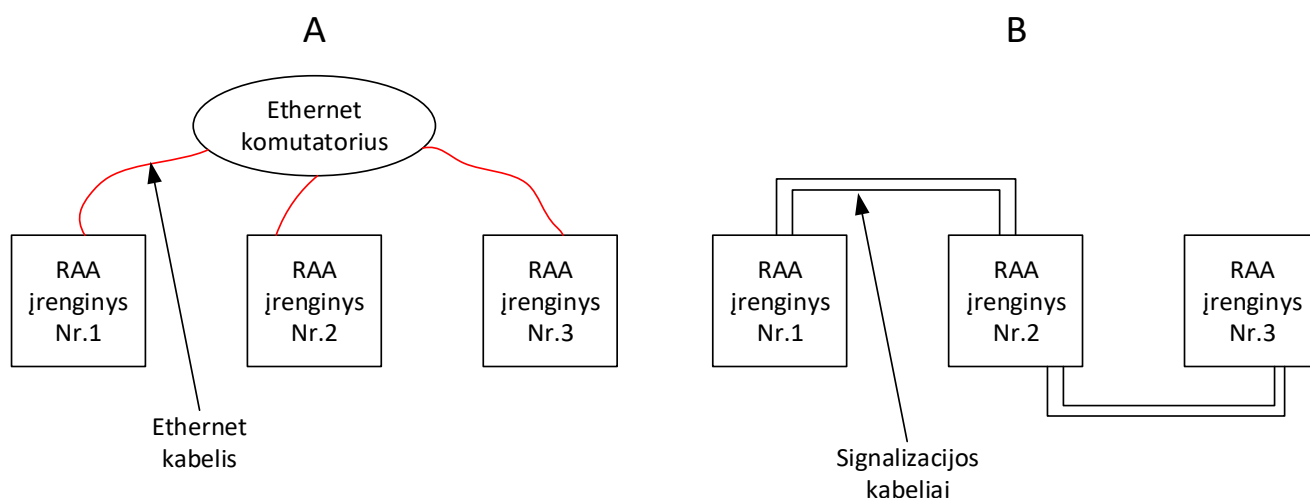
IEC61850 komunikacijos protokolas GOOSE žinutėmis leidžia komunikuoti skirtingiems RAA įrenginiams esantiems tame pačiame eterneto tipo tinkle (2.6 pav.).

GOOSE žinutės eliminuoja poreikį fizinių jungčių tarp RAA įrenginių binarinių išėjimų ir binarinių įėjimų, siekiant perduoti informaciją iš vieno RAA įrenginio į kitą RAA įrenginį, taip sutaupant signalizacijos kabelių sąskaita. Sutaupoma RAA įrenginių kaina, kadangi reikia RAA įrenginio su mažesniu kiekiu įėjimų ir išėjimų, paliekant tik reikalingą binarinių įėjimų, binarinių išėjimų ir analoginių įėjimų (angl. *analog input*) kiekį ryšiui su fiziniais įrenginiais, perduodant jų esamą poziciją (jungtuvai, vežimėliai, skyrikliai, įžemikliai, raktai ir kt.), tuos įrenginius valdyti (įjungti, išjungti) ir fiksuoti analoginius matavimus (srovės, įtampos, dažnis, galia ir kt.). Komunikacija tarp įrenginių taip pat tampa greitesnė, kadangi eterneto tinklu duomenys yra perduodami greičiau, negu tradiciniu būdu signaliniais kabeliais, kadangi yra eliminuojamas binarinio išėjimo suveikimo laikas (~30 ms), bei binarinio įėjimo suveikimo laikas.

GOOSE žinutės leidžia tarpusavyje komunikuoti, bet kuriems RAA įrenginiams esantiems tame pačiame tinkle, leidžiant tokias skirstomojo tinklo apsaugas kaip ŠA, JRĮ, ARĮ, NA, NAKĮ funkcijas įgyvendinti kitaip, neribojant RAA įrenginio fizinių jungčių trūkumu, pakeičiant fizinę jungtį – į virtualią, GOOSE žinučių jungtį tarp RAA įrenginių.

GOOSE žinutės leidžia konfigūruoti RAA įrenginių apsaugų logikas nesiremiant signalinių kabelių sujungimais, tokias kaip ARĮ ar nukrovimo automatikas, leidžiant jas padaryti

funkcionalesnes nenaudojant fizinių jungčių tarp relių, neturint fizinių jungčių apribojimo, kas leidžia tai įgyvendinti paprasčiau.



2.7 pav. Dalis A – sąveika tarp RAA įrenginių GOOSE žinutėmis, B – sąveika tarp RAA įrenginių signalizacijos kabeliais

RAA įrenginių sąveikos skirtumas tarp įprastinės metodikos ir IEC61850 komunikacijos protokolu GOOSE žinutėmis, kaip pateikta schemeje (2.7 pav.) A ir B dalyse. RAA įrenginiai esantys bendrame tinkle (A dalis) gali laisvai sąveikauti tarpusavyje vienas su kitu, kai RAA įrenginiai esantys B dalyje, to padaryti negali, kaip pavyzdys būtų, RAA įrenginiai Nr.1 ir Nr. 2, Nr. 2 ir Nr.3 gali sąveikauti tarpusavyje, tačiau sąveika tarp RAA įrenginių Nr. 1 ir Nr. 3 yra neįmanoma.

Derinimo metu sukonfigūruoti RAA įrenginiai turi savo tam tikrą unikalų duomenų rinkinį. Šiuose duomenų rinkiniuose suformuota informacija GOOSE žinutėmis ištransliuojama visiems RAA įrenginiams esantiems tame pačiame eterneto tinkle. RAA įrenginiai, kurie turi priimti GOOSE žinutes ištransliuotas į tinklą, paruošiami priimti jas, gaunamos GOOSE žinutės priskiriamos prie valdymo įėjimų ar loginių įėjimų. Kada duomenų rinkinyje pasikeičia vienas ar keli specifinės funkcijos duomenų savybė, RAA įrenginio ištransliuojančio, tos funkcijos GOOSE žinutė, akimirksniu perdavimo buferis atnaujinamas su atsinaujinusių duomenų savybė.

2.3.3. GOOSE žinučių greیتaveika ir patikimumas

Kadangi GOOSE žinutės yra naudojamos apsaugų funkcijų, automatikos ir blokavimo funkcijoms, joms yra svarbi greیتaveika, bei patikimumas.

Duomenys persiunčiami MMS protokolu turi perkelti komunikacijos protokolini lygmenį ir tai užtrunka maždaug 100-500ms kol yra perduodami duomenys. Tačiau, toks greitis yra nepakankamas, kad būtų grindžiamas su apsauginėmis funkcijomis susijęs ryšys, kuriam yra reikalingas duomenų perkėlimas užtrunkantis ~10ms. Taigi todėl, perduodami duomenys „apeina“ tam tikrus protokolinius sluoksnius, taip pridėdant inercijos. IEC 61850 „GOOSE“ protokolo duomenys susiejami tiesiai į eternetu sluoksnį. Taip GOOSE protokolas tampa greیتaveikiu horizontaliu komunikacijos būdu tarp RAA įrenginių, kuris gali būti naudojamas apsauginėms funkcijoms, automatiškai ir blokuotėms.

Kada duomenų rinkinyje nėra GOOSE žinutės vertės pasikeitimo (Iš 0 į 1 ar 1 į 0), GOOSE pranešimas yra išsiunčiamas nustatytais laiko tarpais iš anksto nustatytais pagal nustatymą –

maksimalus laikas. GOOSE žinutę priimantis įrenginys įvertiną šią vertę, todėl jis gali įvertinti ar GOOSE pranešimas yra gaunamas per didžiausią numatomą laiką, taip turint galimybę nustatyti esamą gedimą ryšio tinkle.

2.4. Paralell redundancy protocol

Pastarųjų metų pažangos informacinių ir ryšių technologijų srityje ir aukšto lygio automatizavimo svarba elektros leido išmanaus tinklo realizavimo keliamus uždavinius. Su IEC61850 standarto iškilimu, kaip globaliai priimto standarto pastočių automatikai, įvairios techninės problemos susijusios su susijungimo (angl. *interconnectivity*) ir sąveikos (angl. *interoperability*) įvairių įrenginių iš skirtingų gamintojų diegiamų pastotėse yra išspręstos. Eternetu pagrįstas vietinis tinklas, leidžia valdymo centrams būti tarpusavyje sujungtiems ir gerinant kokybę duomenų apdorojimo, planavimo ir atliekamų sprendimų klausimais.

Visgi, gedimo atveju, bet kuriame pastotės ryšių tinklo taške, griūva visas pastotės ryšių tinklas ir duomenų perdavimas, monitoringas akimirksniu tampa neįmanomas. Tokiu atveju, trumpojo jungimo atveju, signalų perdavimo nebuvimas, gali sukelti įvykių grandinę, kuri gali nuvesti iki dalinio arba visiško elektros tinklo griuvimo. Žinoma, tokios įvykių virtinės tikimybė teoriškai yra maža, bet ir negali būti praleista pro akis.

2.1 lentelė IEC61850-5 Ed.2 standarto ryšio atsistatymo laiko delsos reikalavimai.

Komunikuojantis partneriai	Paslauga (standartas)	Funkcijos atsistatymo toleruojama delsa	Reikalaujamas ryšio atsistatymo laikas
SCADA į DAN, klientas-servers	IEC 61850-8-1	800 ms	400ms
Blokuotės	IEC 61850-8-1	12 ms	4 ms
Atvirkštinis blokavimas	IEC 61850-8-1	12 ms	4 ms
Apsaugų išjungimai (išskyrus šynų apsaugą)	IEC 61850-8-1	8 ms	4 ms
Šynų apsauga	IEC 61850-9-2	<1 ms	Momentinis
Matuojamos vertės	IEC 61850-9-2	Mažiau nei dvi nuosekliai vertės	Momentinis

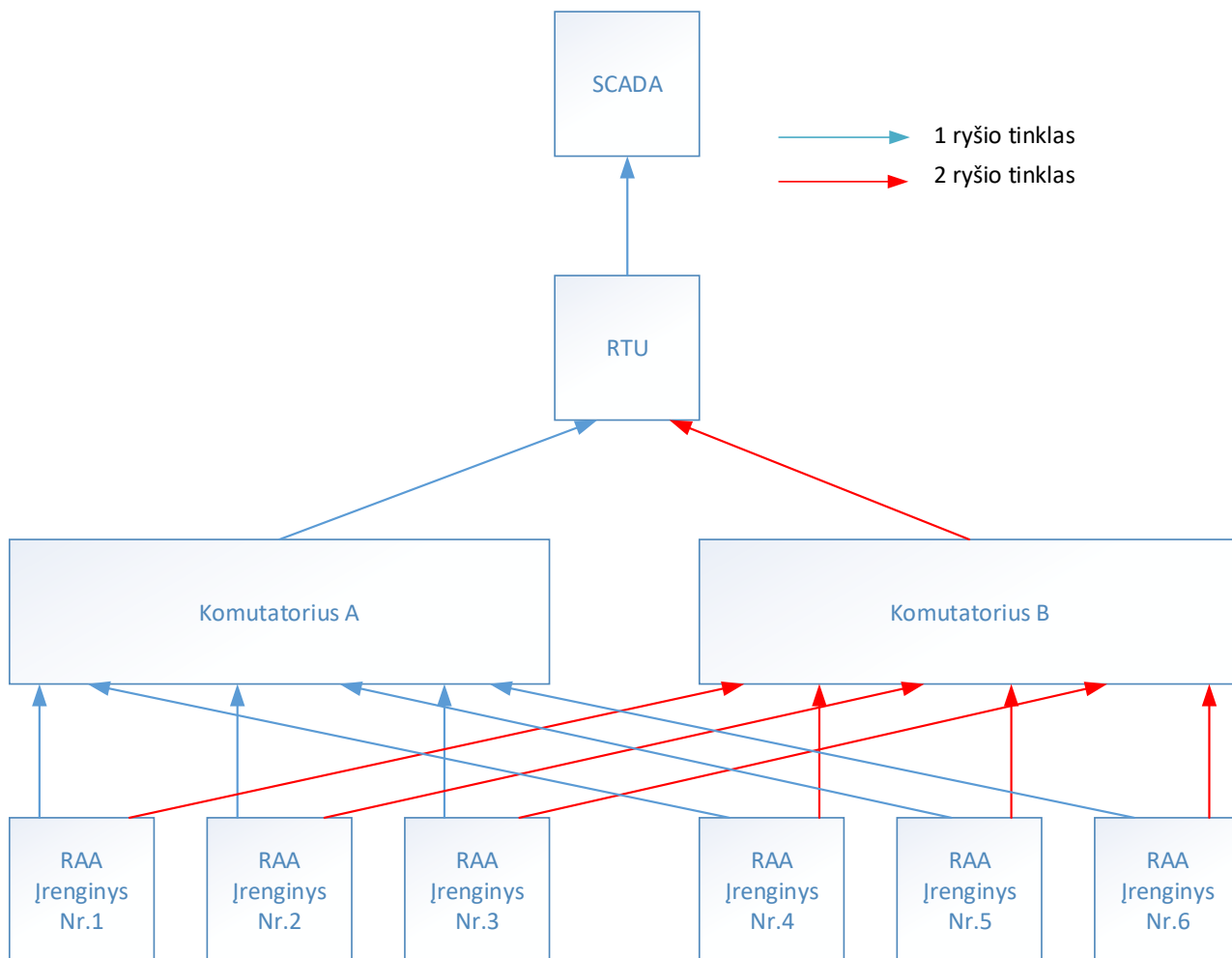
Kad būtų įgyvendinti šie reikalavimai, IEC61850-8-1 ir 9-2 naudoja dubliavimo sprendimą standartizuotą pramoniniam eterneto tinklui IEC62439-3 standarte.

Gedimų vietiniame pastotės ryšių tinkle išsprendžiama suformuojant pilnai dubliuojantį komunikacijos tinklą. IEC 62493-3 standarte aprašoma pilnai dubliuojančio tinklo reikalavimai ir principai. Pilnai dubliuojančio tinklo savybės:

- nulinis persijungimo periodas.
- užtikrinimas sklandus persijungimas.
- nuolat vykdoma dubliacija užtikrina gedimų aptikimo aprėptį.

- užtikrina saugų įrenginių veikimą.

Šis tinklo modelis suteikia patikimą, atsparų, prieinamą, saugų, vientisą komunikacijos struktūrą, kuris gali būti pilnai įgyvendinama pastotėje. PRP tinkle yra dubliuojami perduodami duomenų paketai, išsiunčiami dviem skirtingais vietiniais tinklais, nepriklausomais nuo vienas kito. Duomenų paketui atvykus į galutinį tašką, pirmas atvykęs duomenų paketas laikomas kaip galutinis duomenų paketas ir antras (dubliuotas) duomenų paketas pasiekęs galutinį tašką tada yra sunaikinimas.



2.8 pav. PRP (parallel redundancy protocol) principinė schema.

2.8 paveikslėlyje pavaizduota PRP veikimo principinė schema. Dubliavimas vyksta dviem nepriklausomais LAN tinklais. Kiekvienas RAA įrenginys (palaikantis PRP funkciją) yra prijungiamas prie dviejų atskirų komutatorių ir duomenų paketai šiais nepriklausomais ryšio tinklais keliauja galutinio taško link (RTU).

2.5. IEC61850 standarto pritaikymo galimybės 6-10kV elektros tinkluose.

Pritaikant IEC61850 standartą skirstomajame 6-10kV tinkle galima išskirti tris pagrindinius būdus, kaip būtų galima pritaikyti šį elektros pastočių ir automatikos standartą:

1. komunikacija tarp RAA įrenginių ir RTU naudojant IEC61850 komunikacijos, kuris grindžiamas standartizuota SCL pastotės konfigūravimo kalba.
2. GOOSE žinučių pritaikymas – vienas iš kompleksiškesnių IEC61850 standarto elementų. Šias žinutes skirstomajame tinkle galima pritaikyti visiems poreikiams, kurie yra susiję su RAA įrenginių tarpusavio sąveika, nepaisant įrenginio gamintojo. Eliminuojuot binarinių išėjimų ir binarinių įėjimų poreikį, GOOSE žinutes galima pritaikyti realizuoti šioms funkcijoms: loginė šynų apsauga, jungtuvo rezervavimo įrenginys, automatinis rezervavo įjungimas, nukrovimo automatika, nukrovimo automatikos kartotinis įjungimas, transformatoriaus apsaugų poveikis, bei visiems kitiems atvejams, kurių metu reikalingas RAA įrenginių tarpusavio sąveika.
3. PRP pritaikymas teleinformacijos perdavimo patikimumui į SCADA sistemą padidinimas, tokiais atvejais kaip – sugedęs vienas iš RAA įrenginių optinių išėjimų ar pažeista viena iš optinių skaidulų prijungtų prie RAA įrenginių, sugedęs vienas iš komutatorių. Brangiausiai realizuojama IEC61850 standarto suteikiama galimybė, kaina kyla kadangi dubliuojami pastotės ryšių tinklo elementai: reikalingi RAA įrenginiai turintys du optinius komunikacinius išėjimus, dvigubėja reikalingų optinių skaidulų kiekis bei naudojamų tinklo komutatorių kiekis.

Realizavus šias IEC61850 standarto suteikiamas galimybes, įvykdomi du pagrindiniai IEC61850 standarto punktai, kad visi RAA įrenginiai laisvai sąveikauja ir yra suderinami tarpusavyje, nepriklausomai nuo gamintojo ir kad visi RAA įrenginiai laisvai konfigūruojami naudojant bendrą standartą nustatytą SCL pastotės konfigūravimo kalbą.

Literatūros analizės išvados

1. Išanalizuotos skirstomajame tinkle naudojamos relinės apsaugos ir automatikos funkcijos, jų veikimo principai, joms keliami reikalavimai, bei naudojami komunikacijos protokolai.
2. Išsiaiškintos pagrindinės IEC61850 standarto suteikiamos galimybės – skirtingų gamintojų įrangos suderinamumas, vienodos struktūros duomenų perdavimas, sąveika tarp įrenginių GOOSE žinutėmis, PRP, sampled values testavimas.
3. Išanalizuota teleinformacijos perdavimo principas IEC61850 komunikacijos protokolu, bei IEC61850 standarto keliami tikslai teleinformacijos perdavimui. Pagrindinis IEC61850 standarto tikslas yra įrenginių suderinamumas, todėl visi įrenginiai turi palaikyti bendrą XML pagrindu paremtą pastotės konfigūravimo kalbą SCL.
4. Išanalizuota PRP dubliuota elektros pastotės ryšių tinklo principinė schema teleinformacijos perdavimo patikimumui gerinti.
5. Išanalizuota GOOSE žinučių veikimo, bei pritaikymo principas. GOOSE žinutės eliminuoja poreikį naudoti binarinius išėjimus, bei binarinius įėjimus ryšiui tarp RAA įrenginių įgyvendinti, suteikiant galimybę visiems įrenginiams sujungtiems į bendrą potinklį sąveikauti tarpusavyje.

Tyrimas

3. IEC61850 standarto pritaikymo galimybių skirstomajame 6-10kV tinkle analizė

3.1. Tyrimo priemonės, programinė įranga, įrenginiai

Praktiniam IEC61850 standarto pritaikymo tyrimui daryti bus naudojami du lenkų įmonės „*Elektrometal Energetyka SA*“ (<https://elektrometal-energetyka.pl/en>) relinės apsaugos ir automatikos įrenginiai „*e²Tango-800*“. Šių dviejų įrenginių komplektacija skiriasi, vienas iš jų turi du optinius komunikacijos išėjimus skirtus IEC61850 komunikacijai, taip pat tuo pačiu metu palaikydamas PRP funkciją.

Vykdomo praktinio eksperimento (sąveika tarp RAA ir RTU įrenginių) planas – paruošus RAA įrenginio konfigūraciją, užmegzti ryšį tarp RAA bei RTU įrenginių. Išbandomas teleinformacijos perdavimas (įrenginių padėtys, funkcijų poveikis, matavimai) ir valdymo komandos.

Vykdomo praktinio eksperimento (sąveika tarp RAA ir RTU įrenginių) tikslas – įvertinti standartizuota baze parengto komunikacijos ryšio veikimo pranašumus, bei konfigūravimo niuansus.

Vykdomo praktinio eksperimento (GOOSE žinučių pritaikymo) planas:

1. paruošiamos konfigūracijos dviem skirtingiems RAA įrenginiams, skirstomojo tinklo relinės apsaugos ir automatikos funkcijoms realizuoti, įsitikinama kad funkcijos realizuotos korektiškai.
2. paruošiama analogiška įrenginių konfigūracija realizuota GOOSE žinutėmis.
3. analogiškos RAA įrenginių konfigūracijos išbandomos naudojant „*Omicron CMC356*“ ir fiksuojami relinės apsaugos ir automatikos poveikio laikai.

Vykdomo praktinio eksperimento (GOOSE žinučių pritaikymo) tikslai:

1. įvertinti relinės apsaugos ir automatikos poveikio laikų pasikeitimą, realizavus funkcijas GOOSE žinutėmis.
2. įvertinti potencialias problemas ir neigiamas pasekmes, kurios gali iškilti taikant relinės apsaugos ir automatikos darbui IEC61850 standartą.



3.1 pav. „*e²Tango-800*“ ir „*Enilit RTU*“ įrenginiai

Duomenų perdavimui analizuoti naudojama lietuvių įmonės UAB „Enilit“ sukurta įrenginį „Enilit RTU“ (pavaizduota pav. 3.2) ir programinę įrangą – „Enilit CMS“ (pavaizduota pav. 3.3), kurią galima naudoti kaip duomenų analizatorių, bei visai neturint RTU įrenginio, simuliuoti RTU veikimą asmeniniame kompiuteryje, RAA įrenginio komunikacinę jungtį prijungus prie asmeninio kompiuterio komunikacinės jungties (eterneto jungties) per atitinkamą keitiklį, kaip pavyzdys, „Korenix Jetcon 1301“.

Nuskaityti .scd failams naudojama „OMICRON IEDScout“ programą, kuri gali nuskaityti įrenginio .scd tipo failus vykdyti monitoringą, stebėti vykstančius duomenų informacijos mainus (GOOSE žinutės) ir išduodamas signalus

Simuliuoti matavimams, fiksuoti apsaugų ir automatikos suveikimo laikus naudojamas bandymo stendas „Omicron CMC356“, turintis tris srovinius ir šešis įtampinius išėjimus, kuriais galima simuliuoti matavimų reikšmes ir trumpųjų jungimų sąlygas antriniais dydžiais, bei turintis binarinius įėjimus skirtus poveikio laikui ir momentui fiksuoti.

3.2. Modeliuojama/analizuojama situacija

Modeliuojama situacija bus naudojantis asmeniškai vykdyto projekto, derinimo darbų metu turėtais duomenimis ir informacija (nuostatai, principinės schemos). Tai Skiemonių TP 110/35/10kV vykdyta rekonstrukcija, projekto metu buvo naikinama 35kV dalis, vietoj dviejų transformatorių liko vienas transformatorius. Analizei naudojamos kelios situacijos:

- ryšys tarp įvado T-11 ir linijos L-300, normaliu režimu linija L-300 yra išjungta ir per ją vykdoma ARĮ.
- ryšys tarp įvado T-11 ir linijos L-100, JRĮ ir ŠA apsaugos funkcijos.
- ryšys tarp įvado T-11 ir transformatoriaus apsaugų spintos R1, transformatoriaus apsaugų išjungimas.
- ryšys tarp transformatoriaus apsaugų spintos R1, NA ir NAKĮ.

3.2.1. RAA nuostatai

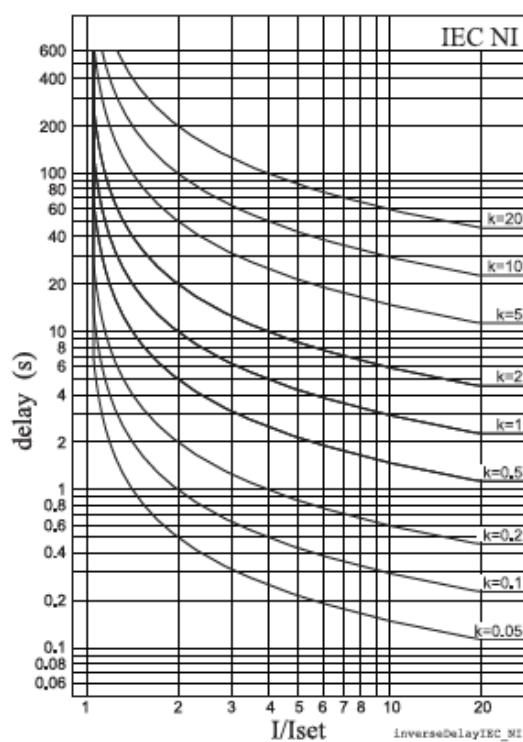
Lentelėje Nr. 3.1 pateikiami Skiemonių 110/10kV transformatorių pastotės 10kV skirstyklos RAA įrenginių nuostatai, kurie bus naudojami kaip pagrindas, paruošti eksperimentui naudojamų RAA įrenginių konfigūracijoms, kurie bus naudojami atlikti tyrimui. Pagal nuostatus paruošiamos keturios konfigūracijos T-11

3.1 lentelė Skiemonių TP 10kV prijunginių RAA nuostatai

Prijunginys	Apsauga	K _{sr.tr.}	I _{nust, A} U _{nust, V}	t _{p, s}	Pastabos
T-11	MSA I	400/1	270	0.25NI*	-
	MSA greit	-	-	0.20	-
	MSA II	400/1	420	1.50	Blokuoja MSA I
	Šynų apsauga	400/1	510	0.20	Blokuojama veikiant nueinančių linijų MSA II
	JRĮ	-	-	0.20	-
	T-11 kabelių skyriaus LA	-	-	0.00	-
	JRĮ nuo linijų blokavimas	400/1	150	-	-
	Šynų lanko apsauga	400/1	150	0.00	-
L-300	MSA I	100/1	150	0.1NI*	-
	MSA greit	100/1		0.20	-
	MSA II	100/1	250	0.50	Blokuoja MSA I, T-11 ŠA
	Atkirta	100/1	600	0.15	-
	JRĮ	-	-	0.20	-
	AKĮ	-	-	5.00	-

Prijunginys	Apsauga	Ksr.tr.	Inust, A Unust, V	tp, s	Pastabos
L-300	LA	100/1	100	0.00	-
	Umin		0.6*Un	9.00	II nust.gr. (I nust.gr. – išjungta)
	ADN Hz/s		49.1	15.00	-
	DAKĮ Hz/s		49.8	40.00	-
L-100	MSA I	100/1	100	0.10NI*	-
	MSA greit	100/1	-	0.20	-
	MSA II	100/1	260	0.20	Blokuoja MSA I, T-11 ŠA
	Atkirta	100/1	-	-	-
	JRĮ	-	-	0.20	-
	AKĮ	-	-	4.00	-
	LA	100/1	-	0.00	-
	ADN Hz/s		49.1	15.00	-
DAKĮ Hz/s		49.8	40.00	-	

*Pastaba – NI tai srovinės apsaugos suveikimo laikas pagal IEC standartą nustatytą kreivę NI (normal inverse). Kreivė pavaizduota paveikslėlyje 3.4.



3.2 pav. IEC normal inverse kreivė

3.2 lentelė IEC standarto kreivių konstantos

Kreivės tipas		Konstanta	
		A	B
NI	„Normal inverse“	0.14	0.02
EI	„Extremely inverse“	80	2
VI	„Very inverse“	13.5	1
LTI	„Long time inverse“	120	1

$$t = \frac{k \cdot A}{\left(\frac{I}{I_{PICKUP}}\right)^B - 1}; \quad (3.1)$$

Maksimalios srovės apsaugos suveikimo laikas t , kada naudojama NI priklausomybės charakteristika priklauso nuo šių parametru:

- k – laiko nustatymo koeficientas.
- I – esamu laiko momentu išmatuota srovės vertė.
- I_{pickup} – nustatyta poveikio srovės vertė
- A, B – konstantos pateiktos lentelėje Nr. 3.2

Pavyzdys NI tipo kreivei:

$$k=0.5$$

$$I=4 \text{ A}$$

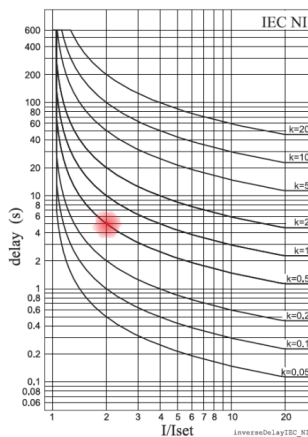
$$I=2 \text{ A}$$

$$A=0.14$$

$$B=0.02$$

$$t = \frac{0.50 \cdot 0.14}{\left(\frac{4}{2}\right)^{0.02} - 1} = 5.0$$

Paveikslėlyje 3.5 pavaizduota NI kreivės išskaičiuoto poveikio laiko taškas ant kreivės. Imama kreivė $k=0.5$, o santykis tarp matuojamos ir nustatomos reikšmės – 2. Taip paprastai galima patikrinti ar nustatymai atlikti RAA įrenginyje, funkcionuoja teisingai.



3.3 pav. Nustatyto poveikio laiko taškas (NI kreivė)

Skiemonių TP ARĮ nuostatai:

ARĮ – nuo Umin arba po T-1 apsaugų išsijungus 10 kV įvadiniam VJ veikia į linijinio VJ L-300 įjungimą. ARĮ blokuojama: po srovinių apsaugų ar ARĮ poveikio, esant įjungtam L-300 VJ, esant įjungimo/išjungimo grandinės gedimui L-300 VJ arba nesant įtampos L-300 kabelyje.

ARĮ normalios schemos sąlygos:

- vežimėlis L-300 darbinėje padėtyje;
- linijoje L-300 įjungta II nuostatų grupė;
- paruošta L-300 pavara;
- vežimėlis T-11 darbinėje padėtyje;
- jungtuvas T-11 įjungtas;
- ARĮ funkcija įjungta (raktu arba televaldymu);
- pavaros L-300 automatinis jungtuvas „Jungtuvo pavaros grandinės“ įjungtas;
- įtempta L-300 jungtuvo pavaros spyruoklė.
- ĮT-11 vežimėlis darbinėje padėtyje;
- įtampos transformatoriaus saugiklis neperdegęs;
- įjungtas automatinis jungiklis „RAA ir matavimų įtampos grandinės“;

Dingus ar sumažėjus įtampai bent dviejose fazėse ($U < 0,6 U_v$) šynų sekcijoje ir esant įtampai ($U > 0,8 U_v$) L-300 linijoje po 9 s išjungiamas šynų sekcijos įvadinis jungtuvas, kur dingo įtampa, o jam išsijungus įjungiamas L-300 jungtuvas.

ARĮ vienkartinis, be grįžimo, paveikus ARĮ ar T-11 apsaugoms, funkcija automatiškai blokuojama. Funkcija atblokuojama atstačius aukščiau išvardintas ARĮ sąlygas ir televaldymu arba ARĮ raktu išjungiant bei vėl įjungiant ARĮ funkciją.

Skiemonių TP automatinio dažninio ir nukrovimo automatikų nuostatai:

Automatinio dažninio nukrovimo (ADN) bei dažninio automatinio kartotinio įjungimo (DAKĮ) nuostatai:

- ADN suveikimo dažnis – 49.1 Hz, suveikimo laikas – 15 s.
- DAKĮ suveikimo dažnis – 49.8 Hz, suveikimo laikas – 40 s.

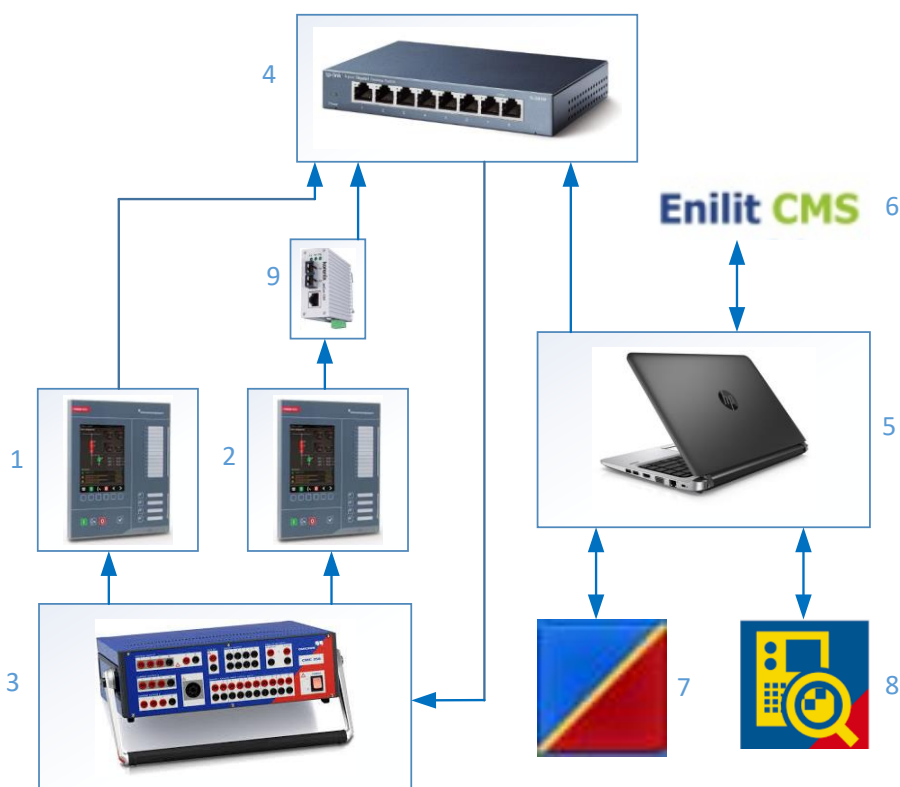
Nukrovimo automatikos (NA) ir automatinio kartotinio įjungimo suveikus NA (NAKĮ) nuostatos:

- NA suveikimo įtampa - 90kV, suveikimo laikas – 3s.
- NAKĮ suveikimo įtampa – 100kV, suveikimo laikas – 30s.

3.2.2. Analizuojamų įrenginių sujungimo schema

Šiame skyrelyje aprašomas principas 3.1 skyriuje aprašytų įrenginių sujungimo schemas, sąsajos tarp jų bei jų paskirtis. Paveikslėlyje 3.6 pateikiama tiriamoji schema, o lentelėje 3.3 aprašomi naudojami įrenginiai ir jų paskirtis.

Prieduose pateikiamos tikslios įrenginių sujungimo schemas.



3.4 pav. Tiriamos schemas įrenginių sujungimo schema

- tiriamojoje schemoje turime du RAA įrenginius Nr.1 ir Nr. 2, kurie sujungti į bendrą vietinį ryšio tinklą, per komutatorių (įrenginys Nr. 4), per kurį kelias GOOSE žinutės tarp RAA įrenginių. Vietiniame ryšio tinkle prijungtų įrenginių adresacija pateikta lentelėje Nr.3.3.
- RAA įrenginių monitoringo ir konfigūravimo sąsajos taip pat pajungti prie šio komutatoriaus.
- bandymo stendo „Omicron CMC356“ ir nešiojamo kompiuterio sąsajos taip pat pajungtos prie to pačio vietinio tinklo, taip supaprastinant, RAA įrenginių konfigūravimo, testavimo ir rezultatų fiksavimo procesą.

3.3 lentelė 3.5 paveikslėlyje pateiktų įrenginių ir programinės įrangos paskirtis

Įrenginio/programinės įrangos žymėjimo Nr.	Įrenginio/programinės įrangos pavadinimas	Įrenginio/programinės įrangos paskirtis
1.	„e ² Tango-800“	RAA įrenginys
2.	„e ² Tango-800 PRP“	RAA įrenginys su dviem optiniais palaikantis PRP funkciją
3.	„OMICRON CMC356“	Bandymo stendas visų tipų ir gamintojų relinės apsaugos ir automatikos įrenginiams tikrinti.
4.	Komutatorius „TP-link“	Komutatorius sujungti visiems įrenginiams į vieną vietinį tinklą.
5.	HP ProBook 430	Nešiojamas kompiuteris, kuriuo konfigūruojami įrenginiai, fiksuojami rezultatai.
6.	„Enilit CMS“	Enilit RTU programinė įrangą leidžianti simuliuoti RTU veikimą asmeniniame kompiuteryje.
7.	„Test Universe 4.00“	Įrankis skirtas naudotis „OMICRON CMC356“, juo nustatomi išduodami antriniai dydžiai iš stendo, suformuojamos rezultatų kreivės, ataskaitos.
8.	„JED Scout 4.20“	Įrankis leidžiantis nuskaityti .scd failus iš RAA įrenginių (šiuo atveju įrenginių Nr. 1 ir Nr. 2)
9.	„Lantech CM-011A“	10/100 TX sąsajos keitiklis į 100FX optinę sąsają.

Lentelėje 3.4 pateikiama visų tyrimo metu naudojamų įrenginių IP adresacija. Naudojant bendrą potinklį, prie kurio yra prijungti visi įrenginiai, yra patogų vykdyti įrenginių konfigūracijos ir bandymo darbus.

3.4 lentelė Įrenginių adresacija

Įrenginys	Įrenginio IP adresacija
RAA įrenginio Nr. 1 komunikacinis išėjimas	192.168.2.21
RAA įrenginio Nr. 2 komunikaciniai išėjimai	192.168.2.32
RAA įrenginio Nr. 1 konfigūravimo prievadas	192.168.2.11
RAA įrenginio Nr. 2 konfigūravimo prievadas	192.168.2.12
Bandymo stendas „Omicron CMC356“	192.168.2.30
Nešiojamas kompiuteris „HP ProBook 430“	192.168.2.100

3.3. Komunikacijos tarp RAA įrenginių ir RTU įrenginio IEC61850 ryšio protokolu analizė

Pirmas žingsnis RAA konfigūracijos paruošimas. Pagal duotus turimus Skiemonių TP nuostatus (skyrelis 3.2.1) ir brėžinius (2 priedas), ruošiama RAA įrenginio konfigūracija, šiai daliai (Poskyris 3.3), ruošiama įvado T-11 konfigūracija:

- srovės transformatorių ir įtampos transformacijos koeficientų įvedimas (Lentelė Nr .3.5)

3.5 lentelė Srovės ir įtampos dydžiai pirminiais ir antriniais vienetais

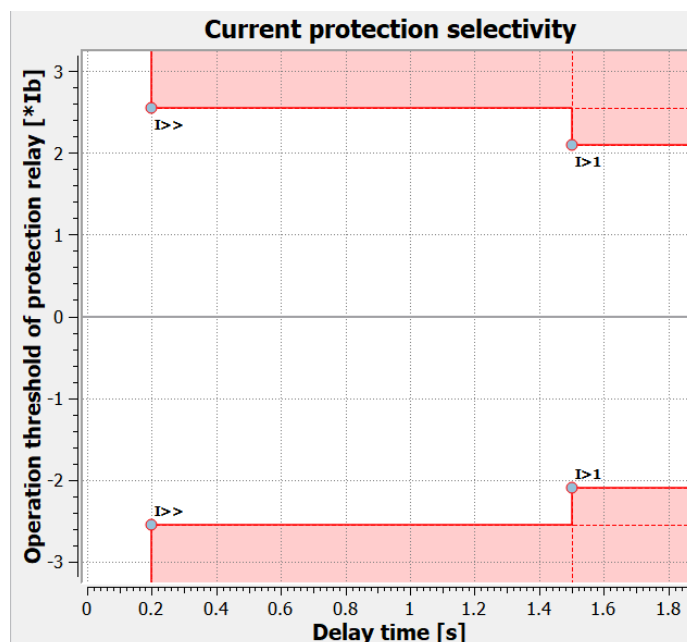
Pirminiai dydžiai		Antriniai dydžiai	
Srovė, A	Įtampa, V	Srovė, A	Įtampa, V
400	10000	1	100

- pasirenkamos ir įjungiamos reikalingos RAA funkcijos (Lentelė Nr .3.6) pagal duotus nuostatus.

3.6 lentelė Aktyvuotos RAA apsauginės funkcijos

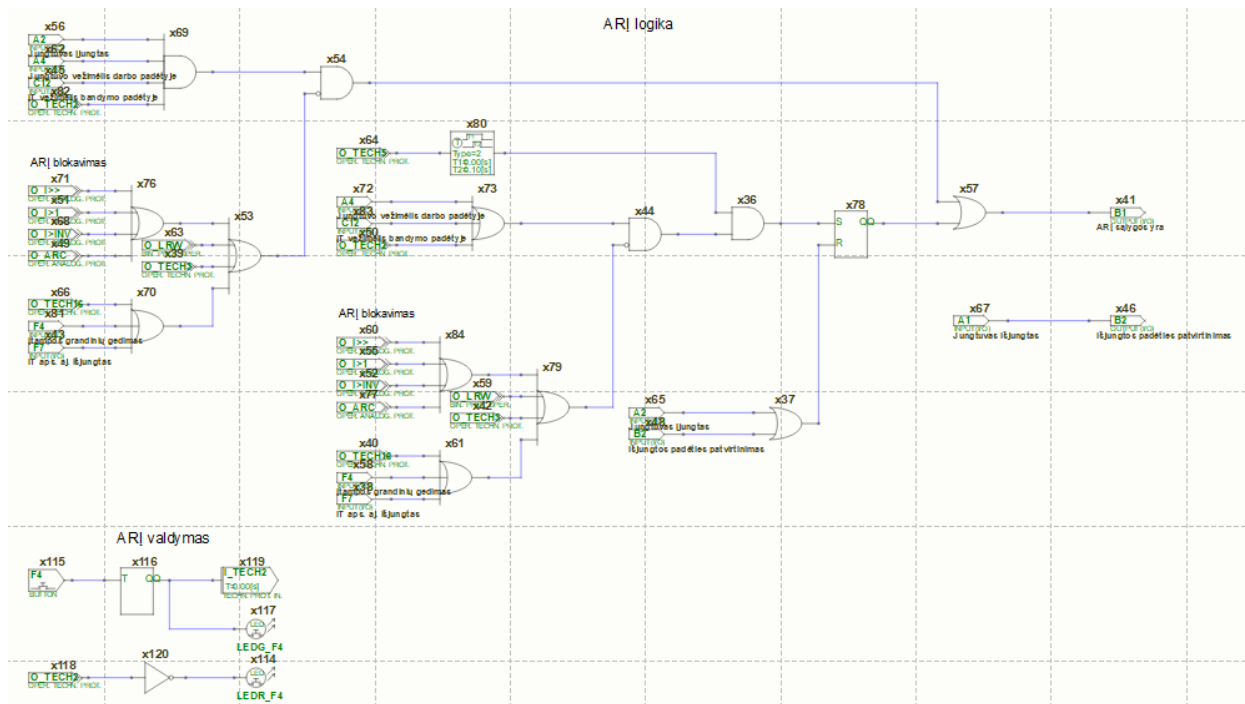
Name	Description	Activity	Pavadinimas
I>>	Short circuit prot.	YES <input type="checkbox"/> I	Atkirta
I>1	Overcurrent prot. 1	YES <input type="checkbox"/> I	MSA II
I>INV	Inverse overcurrent prot.	YES <input type="checkbox"/> I	MSA I (NI charakteristika)
I0>1	Earth fault protection 1	YES <input type="checkbox"/> I	Įžemėjimo apsauga
ARC	Arc prot.	YES <input type="checkbox"/> I	Lanko apsauga
BFP	Circuit breaker failure protection	YES <input type="checkbox"/> I	JRĮ

Paveikslėlyje 3.7 matyti srovinių apsaugų kreivė (DT), kuri atvaizduojama programiniame RAA „e²Tango Studio“ lange. I>> - šynų apsauga, I> - MSA II. Kadangi I>INV funkcijos poveikio srovės nustatymo ribos yra (1.00-2.00), bazinis poveikio srovės I_b yra nustatomas 200, todėl grafike matyti, jog, žiūrint pagal lentelę 3.1, I>> nustatymas yra 2.55 (510 A), o I>1 nustatymas yra 2.10 (420 A).



3.5 pav. Srovinių apsaugų suveikimo selektyvumas

- sudaroma vidinė RAA logika, reikalinga skirstomojo tinklo apsaugoms ir automatikai įgyvendinti (Loginė šynų apsauga, išjungimo/įjungimo grandinių kontrolė, JRĮ, ARĮ ir t.t.).



3.6 pav. RAA vidinės logikos schema

Ruošiant vidines RAA logines schemas (paveikslėlis 3.8) naudojami įvairūs loginiai elementai: sumuojantys, invertuojantys, blokuojantys bei laiko elementai, šioje dalyje pavaizduota loginė schema, plačiau aptariama poskyryje 3.4.

- sekantis žingsnis, yra ryšio tarp RAA įrenginio su RTU užmezgimas:

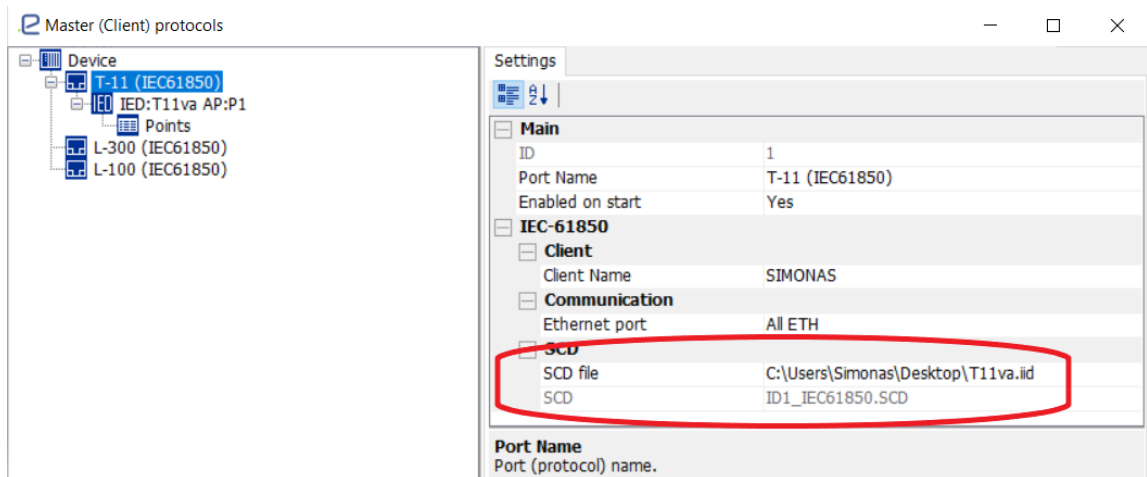
```
C:\WINDOWS\system32>ping 192.168.2.31

Pinging 192.168.2.31 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.31: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.2.31: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.2.31: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.2.31: bytes=32 time<1ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.2.31:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms
```

3.7 pav. Ryšio su RAA įrenginiu Nr. 1 patikrinimas

Pirmiausia naudojama „IEDScout“ programinė įranga nuskaityti .scd failui nuskaityti iš RAA įrenginio, kuris naudojamas, ruošiant RTU konfigūraciją. Palyginus su IEC 60870-5-103 komunikacijos protokolu, konfigūravimo atžvilgiu, tai yra supaprastintas variantas. Nuskaitytas iš RAA įrenginio .scd failas, panaudojamas ruošiant „Enilit RTU“ konfigūraciją, jį panaudojant „Master-slave“ dalyje.



3.8 pav. SCD failo pririšimas „Enlit CMS“ programinėje įrangoje

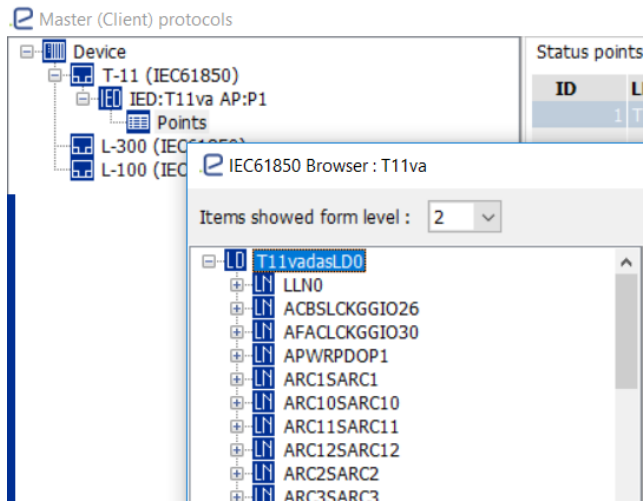
.scd failo panaudojimas supaprastina komunikacinės dalies konfigūravimą RAA įrenginiuose, šių failų duomenų pakete esantys loginiai mazgai atvaizduoja kiekvienos funkcijos poveikį ir būseną, kiekvieno binarinio įėjimo ir išėjimo būseną, loginių elementų ir GOOSE žinučių būseną. Tai eliminuoja poreikį loginės konfigūracijos dalies priskirti tam tikrą adresaciją ar loginį elementą reikalingai teleinformacijai perduoti. Tam tikrais atvejais (kaip pavyzdys „VAMP 300f“) eliminuojama būtinybė kiekvienam perduodam signalui priskyrinti reikalingą adresaciją rankiniu būdu, pavaizduota 3.9 paveikslėlyje.

IEC 60870-5-103: Data config

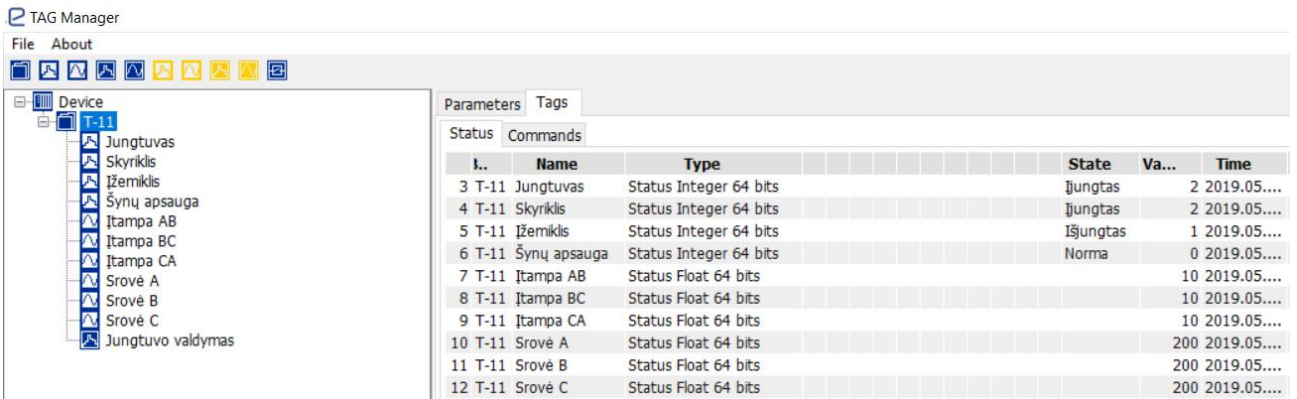
Digital						
Index	FUN	INF	GI	EVENT	CONTROL	Item
[000]	55	181	X	X		Jungtuvas extended sta
[001]	55	182	X	X		Vezimelis extended sta
[002]	55	183	X	X		Įzemiklis extended stat
[003]	55	170	X	X		Jungtuvo spyr. neįtemp
[004]	55	172	X	X		Logic output 3 on
[005]	55	173	X	X		Logic output 4 on
[006]	55	174	X	X		Jungt. pav. a.j. išjungtas
[007]	55	175	X	X		Vež. jž. pav. a.j. išj.
[008]	55	180	X	X		Valdymo gr. a.j. išjungta
[009]	55	176	X	X		Remote/Local State
[010]	55	177	X	X		CTSV_alarm status
[011]	160	90	X	X		I> trip
[012]	160	91	X	X		Logic output 6 on
[013]	160	92	X	X		I>> trip
[014]	55	178	X	X		Logic output 7 on
[015]	160	181	X	X		Logic output 1 on
[016]	55	179	X	X		JRĮ išjungtas
[017]	55	184	X	X		Išj. nuo T1 RAA

3.9 pav. Signalų pririšimas 60870-5-103 protokolu „VAMP 300f“ relėje

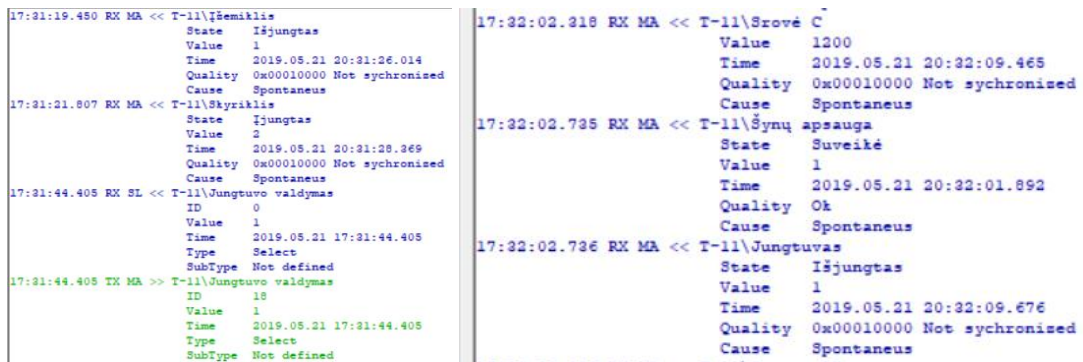
Naudojant standartizuotą IEC61850 standarte aprašytu XML pagrindu paremtą pastotės konfigūravimo modelį, IEC61850 protokolu perduodami ryšiai yra standartizuotai konfigūruojami, kadangi visas perduodamų duomenų modelis yra standartizuotas. Standartizuotas duomenų modelis mūsų turimame faile duoda galimybę lengvai pasirinkti: kokios funkcijos, apsaugos ar elemento signalizaciją norime perduoti. Kaip matoma paveikslėlyje 3.10, visus RAA įrenginio elementus galinčius perduoti signalus, tereikia išsirinkti. Bandymams, panaudosim įrenginių padėtis, valdymo komandas, matavimus bei apsaugų poveikį.



3.10 pav. T-11 įrenginio duomenų modelis



3.11 pav. T-11 perduodamų signalų langas



3.12 pav. T-11 perduodamų signalų monitoringas

Bandymui naudojant IEC61850 komunikacijos protokolą, padaryta tokia išvada, kad naudojant šį standartizuotą variantą galima išskirti kelis dalykus: su ta pačia programine įranga galima nuskaityti įvairių gamintojų RAA įrenginių .scd failus, standartizuotoje .scd failo duomenų bazėje paprasta pasirinkti norimą signalą – eliminuojamas poreikis papildomam konfigūravimui perduoti signalams kaip IEC60870-103 protokolu. Standartizuojant protokolą, vartotojui kyla mažiau keblumų konfigūruojant, derinant įrenginius.

3.4. GOOSE žinučių veikimo ir pritaikymo analizė

IEC61850 standarto viena iš dalių RAA įrenginių komunikacija tarpusavyje GOOSE žinutėmis tame pačiame etherneto tipo tinkle. GOOSE žinutės eliminuoja poreikį fizinių jungčių tarp RAA įrenginių binarinių išėjimų (angl. *binary input*) ir binarinių įėjimų (angl. *binary output*) plokščių siekiant perduoti iš vieno RAA įrenginio į kitą RAA įrenginį. Taip pat eliminuojamas binarinio išėjimo kontakto suveikimo laikas perduodant signalą į kitą RAA įrenginį.

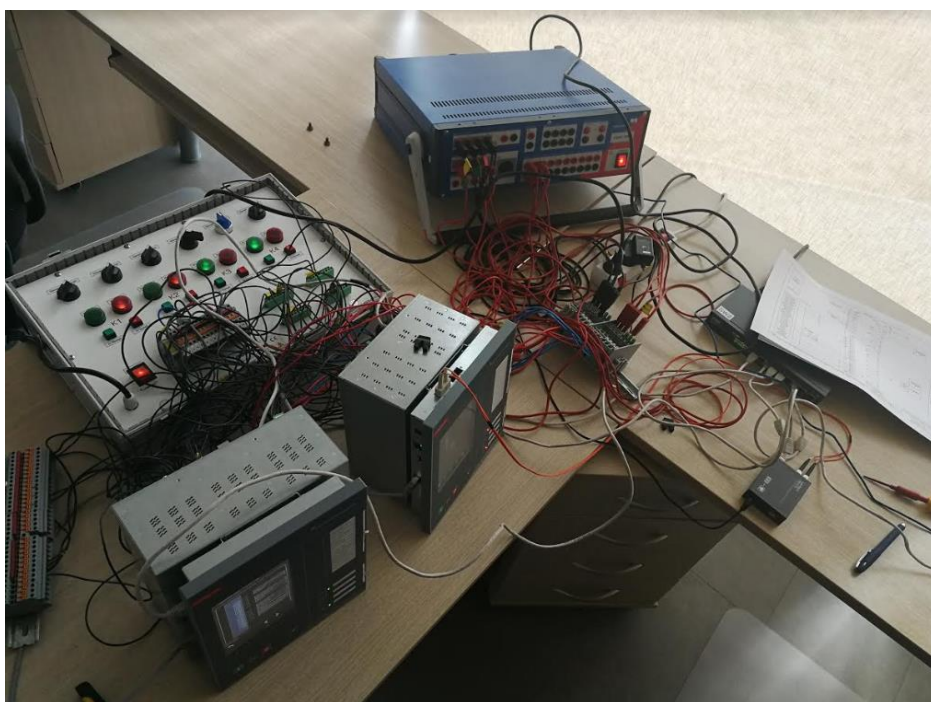
GOOSE žinutės skirstomojo tinklo relinėje apsaugoje gali būti lengvai pritaikoma skirstomojo tinklo apsaugoms aprašytoms poskyryje 1.3, reikalaujančioms sąveikos tarp kelių RAA įrenginių. Tai būtų loginės šynų apsaugos, ARĮ, JRĮ, NA ir NAKĮ sudarymui, taip pat pramonėje skirtingiems variklių greičiams ar panašioms atvejams.

Šiuo atveju modeliuojama situacija pagal skyrelyje 3.2.1 išduotus nuostatus LŠA, ARĮ, JRĮ, NA, NAKĮ, bei transformatoriaus apsaugų poveikis..

3.7 lentelė Binarinio išėjimo poveikio laikai

State	Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	tnom	tmin	tmax	tact
✓	L1-L2-L3	I #1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms	32.00 ms
✓	L1-L2-L3	I #1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms	31.00 ms
✓	L1-L2-L3	I #1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms	25.40 ms
✓	L1-L2-L3	I #1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms	30.00 ms
✓	L1-L2-L3	I #1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms	28.90 ms
✓	L1-L2-L3	I #1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms	28.20 ms
✓	L1-L2-L3	I #1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms	26.70 ms
✓	L1-L2-L3	I #1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms	27.10 ms
✓	L1-L2-L3	I #1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms	24.10 ms
✓	L1-L2-L3	I #1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms	31.30 ms

3.7 lentelėje pateikti binarinio išėjimo laikai, paveikus apsaugai su nuliniu poveikio laiku, matyti jog vidutinis binarinio išėjimo suveikimo laikas yra apie ~29-30ms.



3.13 pav. Eksperimentinio tyrimo įranga

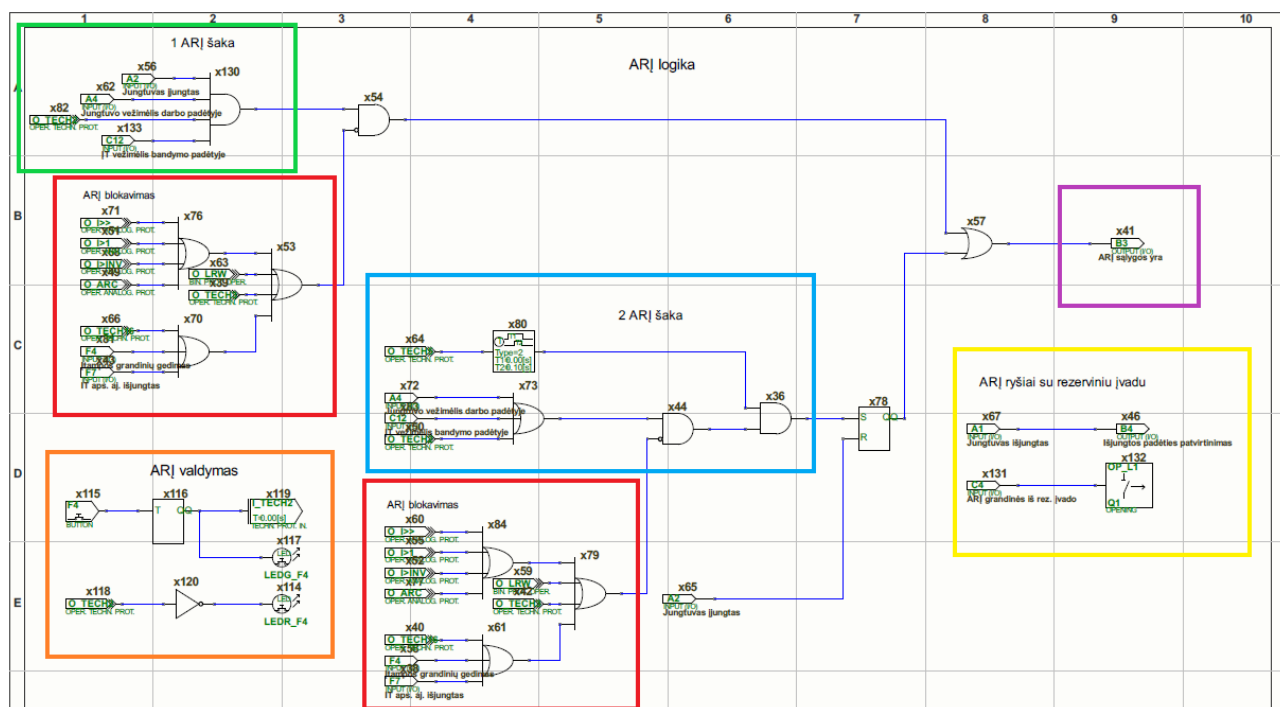
3.4.1. Funkcijų išpildymas binarinių išėjimų ir įėjimų sąveika

Tinkamam IEC61850 standarto įvertinimui ir GOOSE žinučių įtaką greitaveikai bus galima palyginus su signalizacijos perdavimui įprastu būdu – RAA įrenginių tarpusavio sąveika išpildoma signalizacijos kabeliais perduodant signalą nuo binarinio išėjimo iki binarinio įėjimo. Su bandymo standu „OMICRON CMC356“ analogiškoms konfigūracijoms bus išmatuojami tiriamos situacijos, apsaugų poveikio laikai.

Funkcijoms bandyti naudojamas programinės įrangos „OMICRON Test Universe 4.00“, plėtinys „State sequencer“. Plėtinys „State sequencer“ leidžia simuliuoti situacijas pereinančias iš vienos stadijos į kitą taip, leidžiant simuliuoti situacijas pereinančias iš normalaus darbo režimo į avarinį tuo pačiu fiksuojant atsijungimo laikus.

- ARĮ funkcijos bandymas:

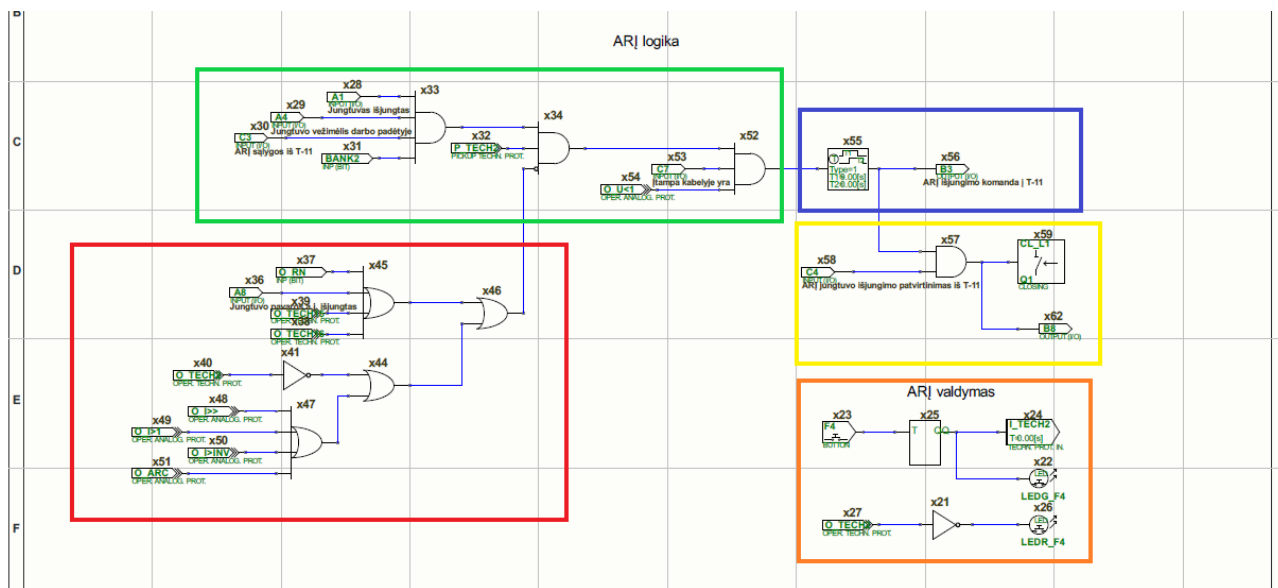
Pagal skyrelyje 3.2.1 pateiktus Skiemonių TP ARĮ nuostatus paruošiamė dviejų RAA įrenginių (T-11 ir L-300) RAA konfigūracija.



3.14 pav. T-11 įrenginio ARĮ logika

Paveikslėlyje 3.14 pateikiama T-11 RAA įrenginio ARĮ veikimo logika, kurią išskirsčiau į septynis, skirtingomis spalvomis sužymėtus blokus, leidžiančius lengviau suprasti veikimo principą. Visų pirma, šiuo atveju yra dvi ARĮ šakos: pirmoji šaka (žalia spalva) – standartinio ARĮ šaka, vykdoma dingus įtampai iš įvadinio maitinimo šaltinio. Šia šaka perduodama į L-300 įrenginį, jog ARĮ sąlygos šiame terminale surinktos. Antroji šaka (mėlyna spalva) – ARĮ vykdomas kai T-11 jungtuvas yra išjungiamas paveikus T-1 apsaugoms. Šių dviejų šakų veikimas yra blokuojamas paveikus, bent vienam iš ARĮ blokavimo blokų elementų (raudona spalva), tai – visos srovinės apsaugos, lanko apsaugos poveikis, valdymo grandinių gedimai. Blokas pažymėtas oranžine spalva – tai ARĮ funkcijos valdymo blokas, sukurtas ARĮ funkcijos valdymui (Ijungti / išjungti) iš RAA terminalo fasado realizuoti. Likę paskutiniai du blokai - sąsaja su L-300 RAA įrenginiu: violetinis blokas – siunčia signalą, jog pirmoji ar antroji ARĮ šaka paruošta ir ARĮ sąlygos yra. Geltonas spalva pažymėtas blokas – tai ARĮ komanda ateinanti iš L-300 RAA įrenginio, praėjus ARĮ laikui (9

sekundėms) išjungianti įvado (T-11 jungtuvą), likęs elementas, tai patvirtinimas į L-300 RAA įrenginį, kad jungtuvas tikrai išjungtas ir galima įjunginėti L-300 jungtuvą.



3.15 pav. L-300 įrenginio ARJ logika

Paveikslėlyje 3.15 pateikiama L-300 RAA įrenginio ARJ veikimo logika, kuri išskirstyta į penkis skirtingomis spalvomis sužymėtus blokus:

- žalia spalva žymimas blokas - blokas surenkantis ARJ paruoštumo sąlygas tiek iš savo narvelio, tiek iš T-11 narvelio. Tik esant visoms reikalingoms sąlygoms gali būti pradedamas skaičiuoti ARJ laikas.
- raudona spalva žymimas blokas – tai ARJ blokuojančių elementų blokas. Visos srovinės apsaugos, lanko apsaugos poveikis, valdymo grandinių gedimai, jungtuvo pavaros neparuoštumas, jungtuvo pavaros automatinis jungiklis išjungtas.
- mėlyna spalva žymimas blokas – tai ARJ laiką skaičiuojantis blokas, kuris dingus įtampai nustatytam laikui (šiuo atveju 9s), išsiunčia jungtuvo išjungimo komandą į įvado T-11 RAA įrenginį.
- geltona spalva žymimas blokas – tai blokas, kuris patvirtinus, kad jungtuvas T-11 buvo išjungtas - įjungia rezervinio maitinimo jungtuvą L-300.
- oranžine spalva žymimas blokas - tai ARJ funkcijos valdymo blokas, suformuotas ARJ funkcijos valdymui (Įjungti/išjungti) iš RAA terminalo fasado realizuoti.

3.8 lentelė ARJ funkcijos poveikio laiko bandymo nustatymai

Table View: ARJ laikas (varinis) in Magistrinis darbas										
		1			2			3		
Name	1 stadija	2 stadija			3 stadija			3 stadija		
V L1-E	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	30.00 V	0.00 °	50.000 Hz	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	
V L2-E	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	30.00 V	-120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	
V L3-E	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	30.00 V	120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	
I L1	0.000 A	0.00 °	50.000 Hz	0.000 A	0.00 °	50.000 Hz	0.000 A	0.00 °	50.000 Hz	
I L2	0.000 A	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	-120.00 °	50.000 Hz	
I L3	0.000 A	120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	120.00 °	50.000 Hz	
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active			
Trigger	⌚	5.000 s		⌚			⌚	5.000 s		

Pagal skyrelyje 3.2.1 aprašytose ARJ sąlygas paruošta RAA įrenginių ARJ funkcijos logika ir suveikimo laikas išbandomas su bandymo stendu „OMICRON CMC356. Test universe“ programoje

naudojant plėtinį „OMICRON State sequencer“, simuliuojama situacija: 1-oji simuliacijos stadija trunka 5 sekundes – normali būseną, įtampa šynose 10kV (antriniais vienetais fazinės įtampos - 57.74 V). Praėjus 5 sekundėms, 2-oje simuliacijos stadijoje įtampa šynose nukrenta žemiau $0.6 \cdot U_N$ ir tada pradedamas skaičiuoti ARĮ suveikimo laikas (9 sekundės). Praėjus 9.136 s (rezultatas iš pav. 3.13) testas pereina į trečią stadiją – perjungtas maitinimas iš rezervinio maitinimo šaltinio, įtampa šynose 10kV (antriniais vienetais fazinės įtampos 57.74 V).

Time Assessments: ARĮ laikas (varinis)									
Time Assessment									
Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1 ARĮ laikas		State 2	Trip 0>1	9.000 s			9.136 s	135.8 ms	

3.16 pav. ARĮ funkcijos poveikio laiko rezultatai

Iš gauto rezultato (paveikslėlis 3.16) matyti, kad signalų perdavimas iš rezervinio įvado įrenginio į pagrindinį įvadą (išjungimo komanda), iš pagrindinio įvado atgal į rezervinį (išjungimo patvirtinimas) ir rezervinio maitinimo jungtuvo įjungimas užtrunka 0.136 sekundės.

- JRĮ funkcijos bandymas:

3.9 lentelė JRĮ funkcijos nustatymai

Magistrinis IEC61850->T-11 įvadas->Protections->BFP settings				
Circuit breaker failure protection				
Name	Description	Subset 1	Subset 2	Pavadinimas
BFP1 out	BFP output 1	B3	B3	JRĮ išėjimas 1
BFP2 out	BFP output 2	None	None	JRĮ išėjimas 2
t out	BFP output activation delay ti...	0.50	0.50	JRĮ išėjimų suveikimo delsa
Drop-of...	BFP output release criterion	Prot. drop-off	Prot. drop-off	JRĮ išėjimų grįžimo kriterijus
Imin out	BFP output activation threshold	0.50	0.50	JRĮ išėjimų suveikimo riba
BFP1 in	BFP input 1	C6	C6	JRĮ jėjimas 1
BFP2 in	BFP input 2	None	None	JRĮ jėjimas 2
t in	BFP input delay time.	0.00	0.00	JRĮ jėjimų suveikimo delsa
Imin in	BFP inputs operation threshold	0.50	0.50	JRĮ jėjimų suveikimo riba
Clos. int...	Closing blockade after BFP o...	YES	YES	Valdymo blokavimas suveikus JRĮ

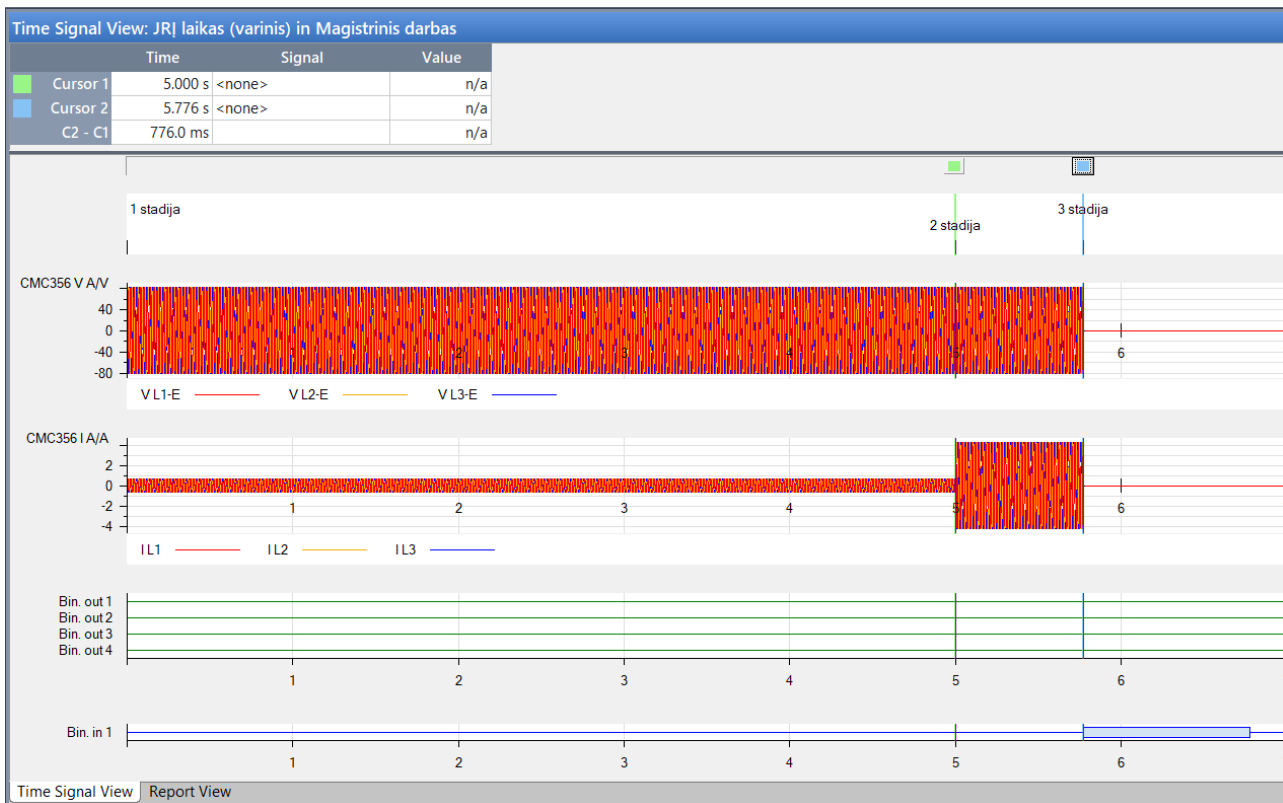
JRĮ funkcijai realizuoti, papildomos logikos naudoti nereikia, kadangi funkcija išpildoma panaudojant gamyklinę funkciją „Circuit breaker failure protection“, pateikta lentelėje Nr. 3.9

3.10 lentelė JRĮ funkcijos poveikio laiko bandymo nustatymai

Table View: JRĮ laikas (varinis) in Magistrinis darbas									
Name	1			2			3		
1 Stadija	2 stadija			3 stadija					
V L1-E	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	0.000 V	0.00 °	50.000 Hz
V L2-E	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 V	-120.00 °	50.000 Hz
V L3-E	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	0.000 V	120.00 °	50.000 Hz
I L1	500.0 mA	0.00 °	50.000 Hz	3.000 A	0.00 °	50.000 Hz	0.000 A	0.00 °	50.000 Hz
I L2	500.0 mA	-120.00 °	50.000 Hz	3.000 A	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	-120.00 °	50.000 Hz
I L3	500.0 mA	120.00 °	50.000 Hz	3.000 A	120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	120.00 °	50.000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger		5.000 s						5.000 s	

JRĮ funkcijos logika ištestuojama simuliuojant tokią situaciją: 1-oji simuliacijos stadija trunka 5 sekundes – normali būseną, įtampa šynose 10kV (antriniais vienetais fazinės įtampos - 57.74 V), linijoje teka 50 A srovė (antriniais vienetais 500 mA). Praėjus 5 sekundėms, 2-oje simuliacijos stadijoje linijoje įvyksta trumpas jungimas, srovė tekanti linijoje pakyla iki 300 A, po 0.5 sekundės suveikia MSA antroji pakopa, nepavykus išjungti jungtuvo (nutraukta jungtuvo išjungimo grandinė),

po 0.2s iš L-300 RAA įrenginio siunčiama komanda į šynų sekcijos įvadinį narvelį jungtuvo išjungimo komanda. Po 776 ms (rezultatas iš pav. 3.18) testas pereina į trečią stadiją – išjungtas įvadinio narvelio jungtuvas, įtampos šynose nėra, linijoje neteka srovė.



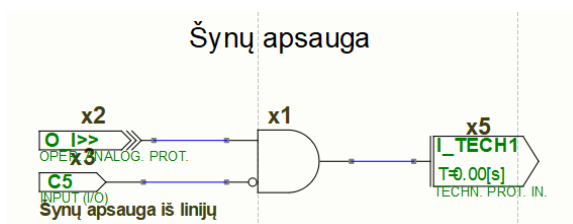
3.17 pav. JRĮ funkcijos bandymo metu užfiksuotos matavimų kreivės

Time Assessments: JRĮ laikas (varinis) in Magistrinis darbas										
Time Assessment										
Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment	
1 JRĮ laikas		2 stadija	Bin. in 1 0>1	700.0 ms	100.0 ms	100.0 ms	776.0 ms	76.00 ms	✓	

3.18 pav. JRĮ funkcijos poveikio laiko bandymo rezultatai

Iš gauto rezultato galima matyti, jog pilnai suveikti JRĮ funkcija nuo trumpojo jungimo momento užtruko 776 ms. 500 ms iš 776 ms sekundžių sudaro MSA II apsaugos delsa L-300, 200 ms iš bendro laiko trunka JRĮ funkcija, likusios 76 ms trunka JRĮ komandos išsiuntimas į T-11 ir kol išjungiamas jungtuvas.

- loginės šynų apsaugos bandymas:



3.19 pav. Loginės šynų apsaugos logika

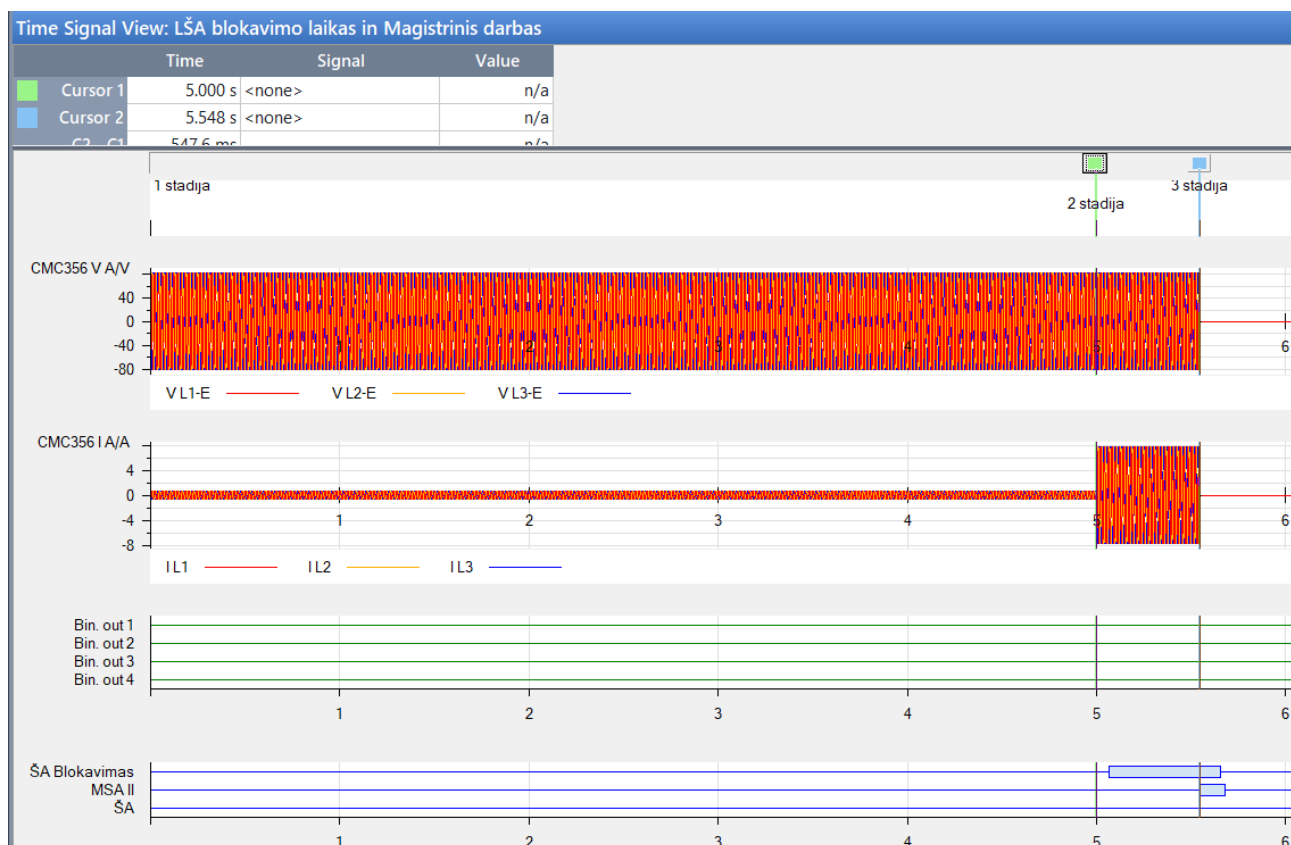
Loginei šynų apsaugai realizuoti naudojama paprasta logika (pateikta pav. 3.19), kurią sudaro sumuojantis elementas „AND“, kurio vienas iš įėjimų yra invertuotas. Nustačius, jog šynų apsaugos

funkcija ($I \gg$) veiktą „logic“ režimu – pati funkcija neveikia į išjungimą, bet kaip funkcinis elementas, gauname tokią logiką, jog ateinant signalui šynų apsauga iš linijų sumuojantis elementas yra blokuojamas ir šynų apsaugos funkcija į išjungimą neveikia.

3.11 lentelė LŠA blokavimo laiko bandymo nustatymai

Table View: LŠA, blokavimo laikas (varinis) in Magistrinis darbas									
	1			2			3		
Name	1 stadija			2 stadija			3 stadija		
V L1-E	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz
V L2-E	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz
V L3-E	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz
I L1	500.0 mA	0.00 °	50.000 Hz	5.500 A	0.00 °	50.000 Hz	0.000 A	0.00 °	50.000 Hz
I L2	500.0 mA	-120.00 °	50.000 Hz	5.500 A	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	-120.00 °	50.000 Hz
I L3	500.0 mA	120.00 °	50.000 Hz	5.500 A	120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	120.00 °	50.000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active		
Trigger	⊙	5.000 s		⊙			⊙	5.000 s	

Pirmoji loginės šynų apsaugos bandoma situacija - loginės šynų apsaugos veikimo principas išbandomas nustatant ar sėkmingai vyksta blokavimas iš linijos į įvadinio narvelio RAA įrenginį ir išjungiamas turi būti tik linijinis narvelis. Pirmoji stadija – normalus darbo režimas, linijoje teka 50 A srovė (antriniais vienetais 500 mA), šynose 10kV įtampa (antriniais vienetais 57.74 V). 2 stadija įvyksta trumpasis jungimas linijoje srovė pakyla iki 550 A (antriniais vienetais 5.5 A). Išmatuojame šynų apsaugos užblokavimo laiką įvadiniame narvelyje, bei linijos MSA II pakopos poveikio laiką ir įsitikiname, jog šynų apsauga įvadinio narvelio T-11 jungtuvo neatjungė.



3.20 pav. LŠA funkcijos bandymo metu užfiksuotos matavimų kreivės

Time Assessments: LŠA blokavimo laikas in Magistrinis darbas									
				Time Assessment					
Name	Ign...	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1	Blokavimo laikas	2 stadija	ŠA Blokavimas 0>1	40.00 ms	40.00 ms	40.00 ms	66.00 ms	26.00 ms	✓
2	MSA II laikas	2 stadija	MSA II 0>1	500.0 ms	50.00 ms	50.00 ms	547.6 ms	47.60 ms	✓

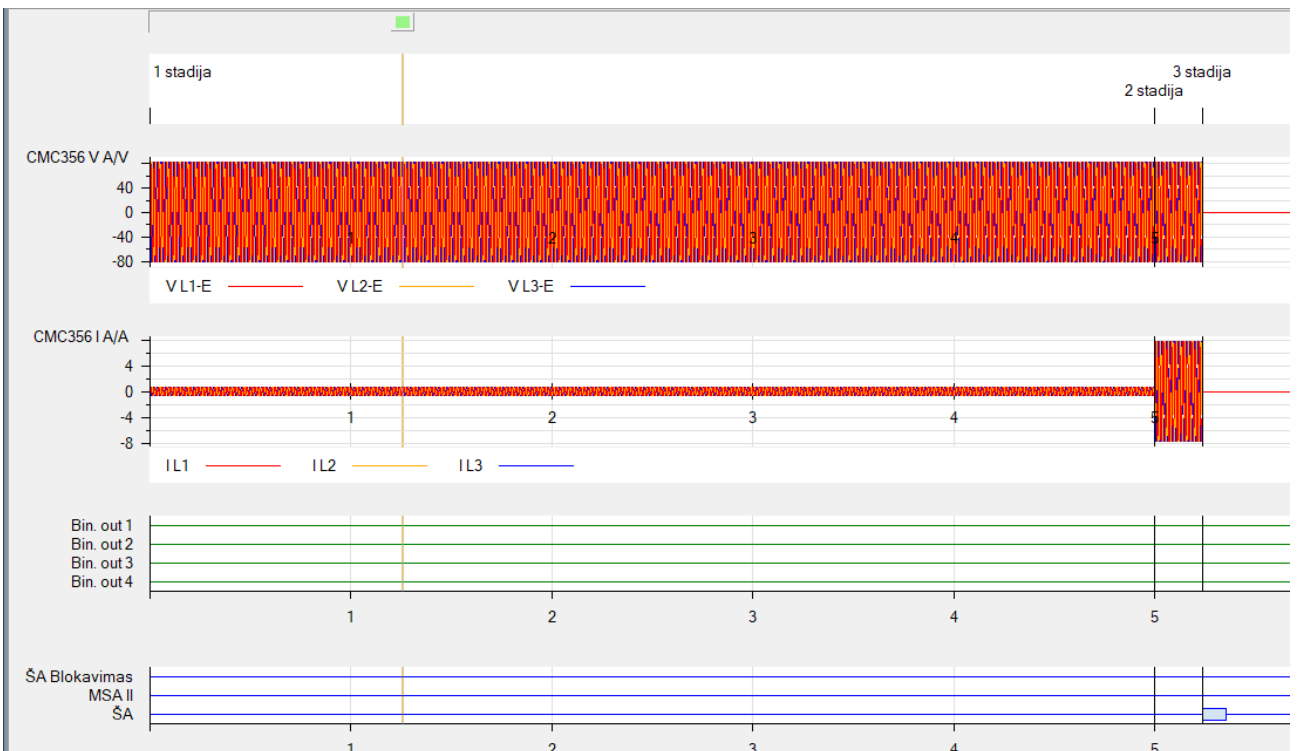
3.21 pav. LŠA blokavimo laiko bandymo rezultatai

Iš gauto rezultato (pav. 3.21) matyti jog LŠA apsaugos blokavimas įvyko per 66 ms ir suveikė MSA II laiptas tik linijoje, o ŠA neveikė (pav. 3.20).

3.12 lentelė LŠA poveikio laiko bandymo nustatymai

Table View: LŠA trip (varinis) in Magistrinis darbas									
1			2			3			
Name	1 stadija		2 stadija			3 stadija			
V L1-E	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	0.000 V	0.00 °	50.000 Hz
V L2-E	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 V	-120.00 °	50.000 Hz
V L3-E	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	0.000 V	120.00 °	50.000 Hz
I L1	1.000 A	0.00 °	50.000 Hz	5.500 A	0.00 °	50.000 Hz	0.000 A	0.00 °	50.000 Hz
I L2	1.000 A	-120.00 °	50.000 Hz	5.500 A	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	-120.00 °	50.000 Hz
I L3	1.000 A	120.00 °	50.000 Hz	5.500 A	120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	120.00 °	50.000 Hz
CMC Rel	0 output(s) active		0 output(s) active			0 output(s) active			
Trigger	⊙	5.000 s	⊙			⊙	5.000 s		

Antroji loginės šynų apsaugos bandoma situacija - išbandomas nustatant ar sėkmingai suveikia šynų apsauga, kada trumpasis jungimas yra ant šynų sekcijos šynų. Pirmoji stadija – normalus darbo režimas, šynomis teka 100 A srovė (antriniais vienetais 1A), šynose 10kV įtampa (antriniais vienetais 57.74 V). Antroji stadija - įvyksta trumpasis šynų sekcijoje, srovė pakyla iki 550 A (antriniais vienetais 5.5 A). Atsijungus įvadiniam jungtuvui nėra įtampos šynose, kadangi įvadas atsijungė nuo apsaugų, ARĮ – nesuveikia.



3.22 pav. ŠA poveikio nustatymo bandymo metu simuliuotos matavimų kreivės

Time Assessments: ŠA trip (varinis) in Magistrinis darbas										
Time Assessment										
Name	Igno...	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment	
ŠA laikas	2 stadija		ŠA 0>1	200.0 ms	50.00ms	50.00 ms	237.2 ms	37.20 ms	✓	

3.23 pav. ŠA apsaugos poveikio laikas

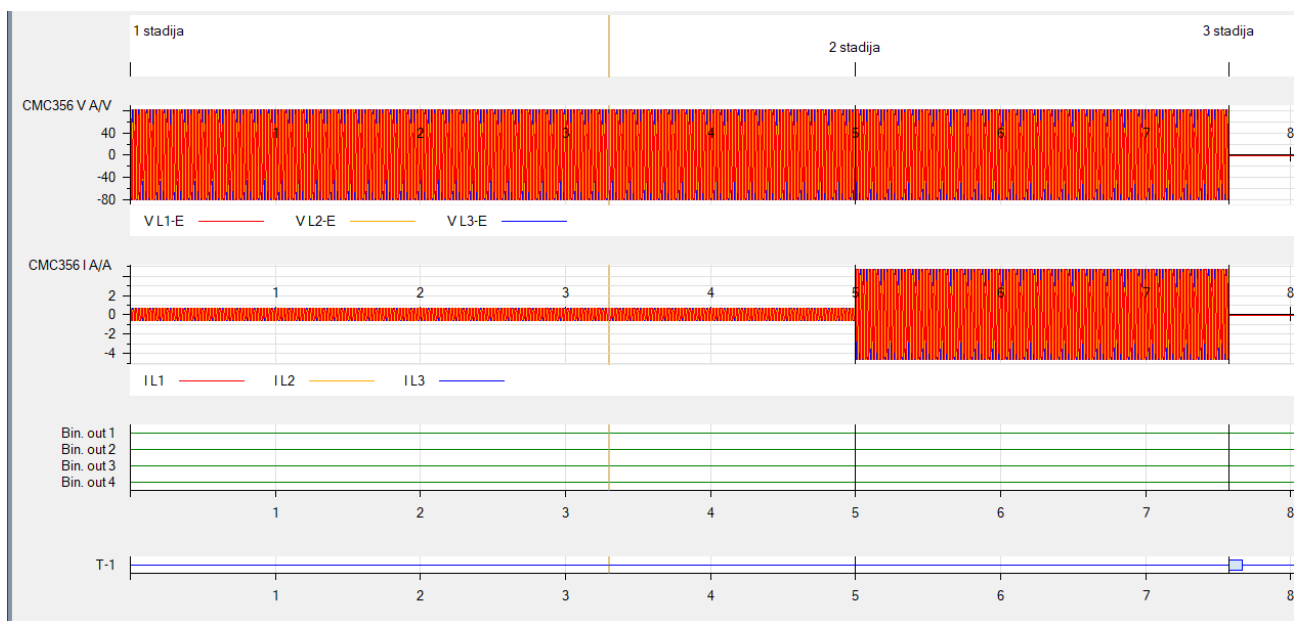
Pav. 3.22 ir pav. 3.23 matome jog ŠA blokavimas neveikė, kadangi trumpasis jungimas simuliuotas šynų sekcijoje.

- T-1 apsaugų poveikis

3.13 lentelė T-1 apsaugų poveikio bandymo nustatymai

Table View: T-1 apsaugų poveikis (varinis) in Magistrinis darbas										
	1			2			3			
Name	1 stadija			2 stadija			3 stadija			
V L1-E	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	0.000 V	0.00 °	50.000 Hz	
V L2-E	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 V	-120.00 °	50.000 Hz	
V L3-E	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	0.000 V	120.00 °	50.000 Hz	
I L1	500.0 mA	0.00 °	50.000 Hz	3.300 A	0.00 °	50.000 Hz	0.000 A	0.00 °	50.000 Hz	
I L2	500.0 mA	-120.00 °	50.000 Hz	3.300 A	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	-120.00 °	50.000 Hz	
I L3	500.0 mA	120.00 °	50.000 Hz	3.300 A	120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	120.00 °	50.000 Hz	
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active			
Trigger	5.000 s						5.000 s			

T-1 apsaugų poveikio bandymo situacija – 1-oji simuliacijos stadija trunka 5 sekundes – normali būseną, įtampa šynose 110kV (antriniais vienetais 57.74V), tekanti srovė – 50 A (antriniais vienetais 500 mA). 2-oji simuliacijos stadijoje įvyksta trifazis trumpasis jungimas srovės vertė pakyla iki 330 A (3.3 A antriniais vienetais), suveikusi apsauga atjungia 10kV šynų sekcijos įvadinį jungtuvą T-11. T-1 MSA nustatymas – poveikio srovės 320 A, poveikio vėlinimas 2.5 s.



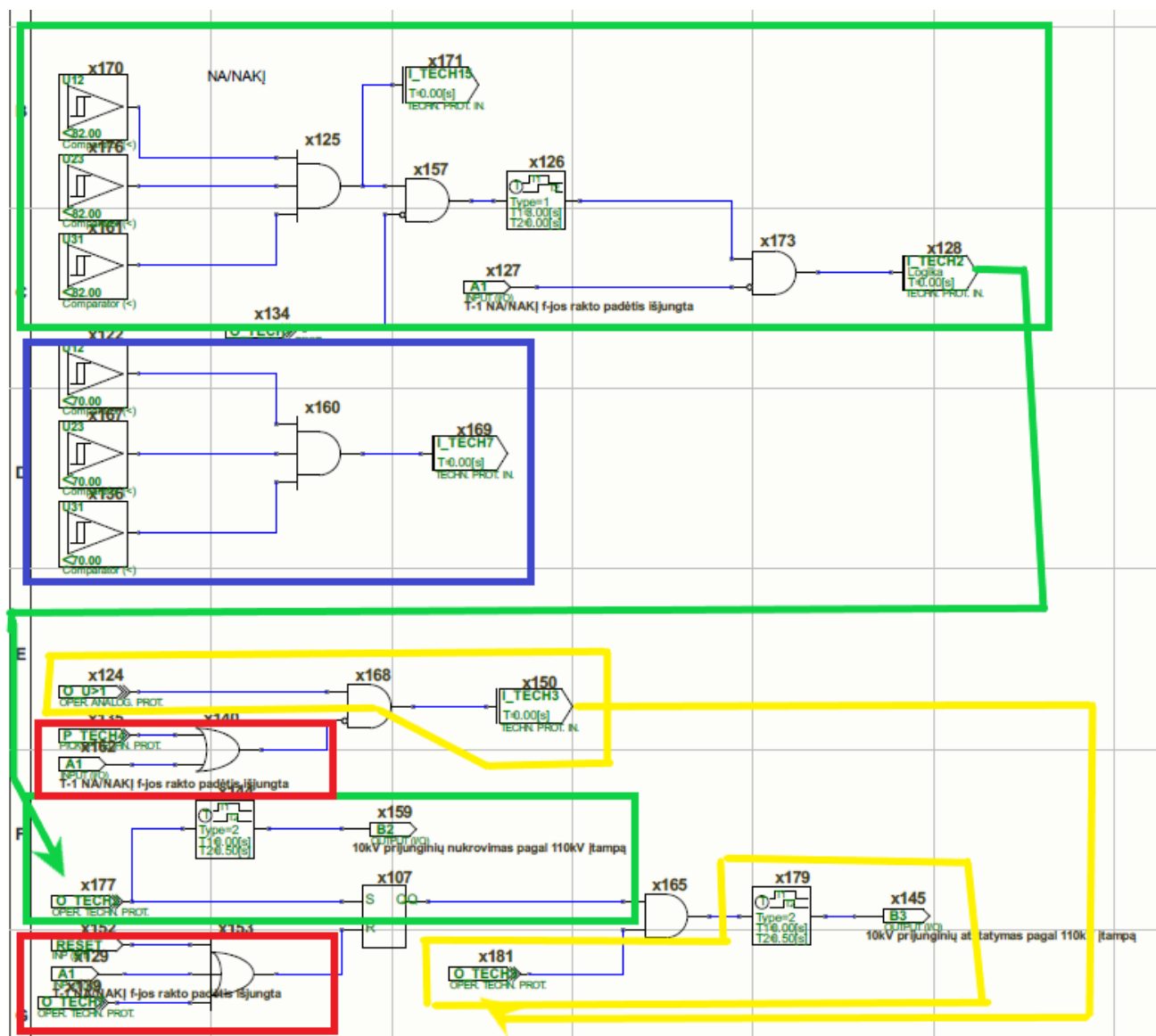
3.24 pav. T-1 apsaugų poveikio nustatymo bandymo metu simuliuotos matavimų kreivės

Time Assessments: T-1 apsaugų poveikis (varinis) in Magistrinis darbas									
Time Assessment									
Name	Igno...	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1 JRĮ laikas		2 stadija	T-1 O>1	2.500 s	100.0 ms	100.0 ms	2.573 s	72.60 ms	✓

3.25 pav. T-1 apsaugų poveikio laikas

Iš gauto rezultato galima matyti, jog pilnai suveikti T-1 apsaugos funkcija nuo trumpojo jungimo momento užtruko 2573 ms. 2500 ms iš 2573 ms sekundžių sudaro MSA apsaugos delsa, likusios 73 ms trunka JRĮ komandos išsiuntimas į T-11 ir kol išjungiamas jungtuvas.

- NA ir NAKĮ automatikos bandymas



3.26 pav. NA ir NAKĮ pagal 110kV logika

Nukrovimo automatikai ir nukrovimo automatikos kartotiniam įjungimui realizuoti formuojama logika pateikta pav. 3.26 išskirstyta į keturis skirtingomis spalvomis pažymėtus blokus:

- žalia spalva pažymėti blokai – nukrovimo automatikos blokai, pirmajame bloke yra elementai matuojantys įtampą ir laiką, kurį įtampa yra žemiau 90kV ribos. Praėjus poveikio laikui

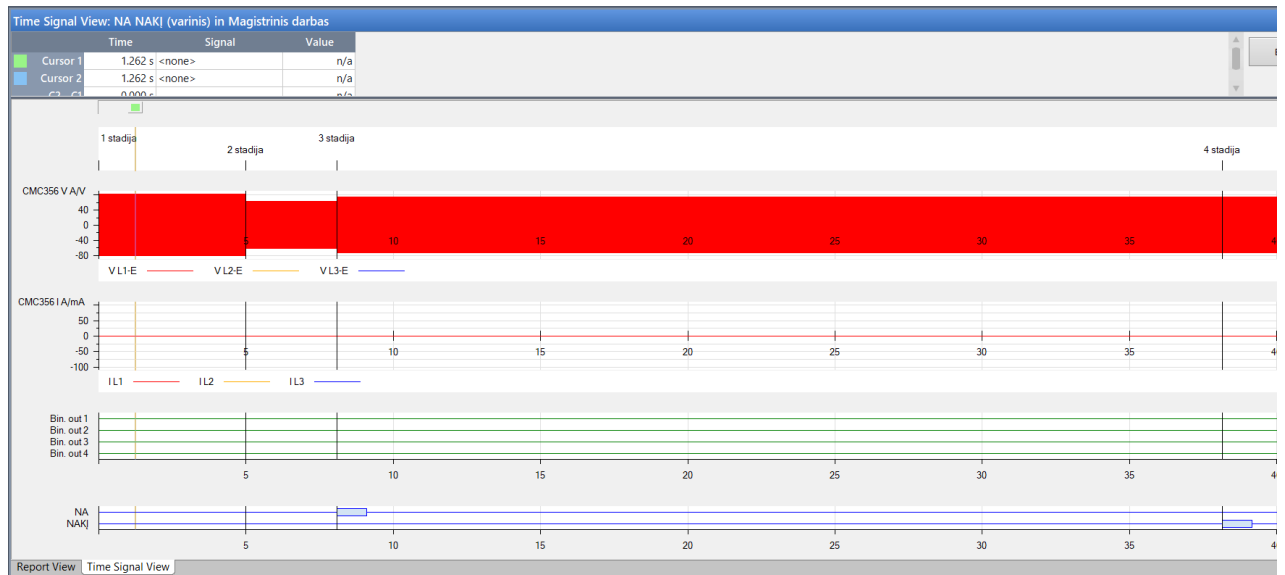
siunčiamas loginis signalas (pažymėta žalia rodykle), kuris pradeda nukrovimo automatikos ciklą ir yra atjungiami 10kV prijunginiai.

- geltona spalva pažymėti blokai – nukrovimo automatikos kartotinio įjungimo blokai, pirmajame bloke yra funkcinis įtampos matavimo elementas, kuriam suveikus prasideda nukrovimo automatikos kartotinio įjungimo ciklas. Iš šito bloko siunčiamas loginis signalas (pažymėtas geltonas rodykle) į sumavimo loginį elementą, kuriuo patvirtinama, jog buvo įvykęs NA ciklas ir tada yra prijungiami atjungti 10kV prijunginiai.
- raudona spalva pažymėti blokai – tai nutraukiantys arba blokuojantys NA ir NAKĮ funkcijų ciklus blokai.
- mėlyna spalva pažymėtas blokas – tai blokas, blokuojantis NA ir NAKĮ ciklus, jeigu įtampa 110kV pusėje yra žemiau 70kV. Šis blokas naudojamas tam, kad tarkim esant tokiam atvejui jog, 10kV šynos yra maitinamos iš rezervinio maitinimo, o ne iš 110kV pusės per transformatorių, nebūtų pradedamas NA ciklas ir nebūtų atjungiami 10kV prijunginiai.

3.14 lentelė NA ir NAKĮ poveikio laiko bandymo nustatymai

Table View: NA NAKĮ (varinis) in Magistrinis darbas										
Name	1			2			3			
	1 stadija			2 stadija			3 stadija			
V L1-E	57.74 V	0.00 °	50.000 Hz	45.00 V	0.00 °	50.000 Hz	53.00 V	0.00 °	50.000 Hz	
V L2-E	57.74 V	-120.00 °	50.000 Hz	45.00 V	-120.00 °	50.000 Hz	53.00 V	-120.00 °	50.000 Hz	
V L3-E	57.74 V	120.00 °	50.000 Hz	45.00 V	120.00 °	50.000 Hz	53.00 V	120.00 °	50.000 Hz	
I L1	0.000 A	0.00 °	50.000 Hz	0.000 A	0.00 °	50.000 Hz	0.000 A	0.00 °	50.000 Hz	
I L2	0.000 A	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	-120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	-120.00 °	50.000 Hz	
I L3	0.000 A	120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	120.00 °	50.000 Hz	0.000 A	120.00 °	50.000 Hz	
CMC Rel	0 output(s) active			0 output(s) active			0 output(s) active			
Trigger	☺	5.000 s		☺			☺			

Nukrovimo automatika ir nukrovimo automatikos atsistatymo automatika išbandoma simuliuojant tokią situaciją: 1-oje simuliacijos stadijoje, kuri trunka 5 sekundes – normali būseną, įtampa šynose 110kV (antrinais vienetais fazinės įtampos - 57.74 V), 2 stadijoje įtampa 110kV dalies šynose krenta žemiau leistinos ribos (90kV) – 85.73kV (antrinais vienetais fazinės įtampos – 45 V). Suveikus nukrovimo automatikai pereinama prie 3 bandymo stadijos, įtampa pasiekia NAKĮ poveikio ribą (100kV), įtampa 110kV šynose – 101.97kV (antrinais vienetais 53 V). Praėjus 30 sekundžių į liniją siunčiama komanda į liniją įjungti jungtuvą, įvykus sėkmingam jungtuvo įjungimui – bandymas baigiasi.



3.27 pav. NA ir NAKĮ funkcijos bandymo metu simuliuotos matavimų kreivės

Time Assessments: NA NAKĮ (Varinis) in Magistrinis darbas										
				Time Assessment						
	Name	Ignor...	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1	NA laikas		2 stadija	NA 0>1	3.000 s	50.00 ms	200.0 ms	3.078 s	77.70 ms	✓
2	NAKĮ laikas		3 stadija	NAKĮ 0>1	30.00 s	50.00 ms	200.0 ms	30.07 s	70.20 ms	✓

3.28 pav. NA ir NAKĮ funkcijos bandymo rezultatai

Iš gauto rezultato paveikslėlyje 3.28 galima matyti, jog nukrovimo automatikai ir atjungti 10kV linijų jungtuvus atjungti prireikė 3077.7 ms. Nukrovimo automatikos kartotiniam įjungimui suveikti prireikė 30070.2 ms. Nuokrypis abiejų apsaugų atveju panašus 77.70ms ir 70.20ms atitinkamai.

3.4.2. Funkcijų išpildymas GOOSE žinutėmis

Bandant apsaugas, bei automatiką išpildytą GOOSE žinutėmis naudojami tų pačių nustatymų bandymo nustatymai, kadangi apsaugų nustatymai analogiški – skiriasi tik funkcijų išpildymas RAA įrenginiuose naudojant GOOSE žinutes. Todėl šiame skyrelyje pateikiami tik pasikeitimai logikos išpildyme, bei gaunami rezultatai atliekant bandymus, funkcijas įgyvendinus GOOSE žinutėmis.

Pagrindinis skirtumas - RAA įrenginių logikoje binarinius įėjimus ir binarinius išėjimus kurie atlieka ryšio tarp RAA įrenginių funkciją – pakeičia GOOSE išėjimai, bei įėjimai (pav. 3.29).



3.29 pav. Logikoje binarinius elementus, keičiantys GOOSE elementai

RAA įrenginio GOOSE žinučių gavimas ir išsiuntimas paruošiamas „e2Tango studio“ programiniame lange – „GOOSE Reciever configuration“, pavaizduota pav. 3.30. Pateiktame paveiksle pažymėti blokai žinučių ištransliavimui ir gavimui paruošti.

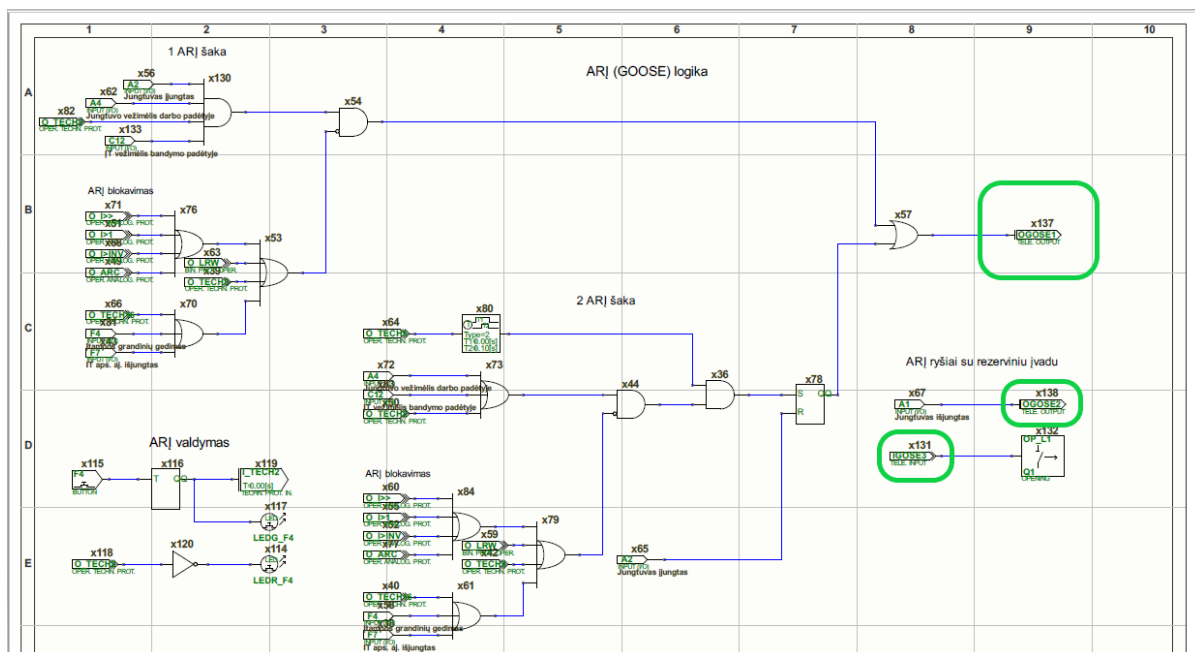
- žalia spalva pažymėtas blokas – GOOSE žinučių ištransliavimo į tinklą nustatymai. Visų pirma - aktyvuojamas šios funkcijos veikimas. Toliau įrenginiui suteikiamas MAC adresas, bei įrenginį identifikuojantys likę parametrai.
- oranžine spalva pažymėtas blokas – pasirenkamų GOOSE žinučių gavimo iš tinklo nustatymų dalis. Čia analogiškai, pagal kitame RAA įrenginyje atliktus žinučių ištransliavimo nustatymus atliekami žinučių priėmimo nustatymai.

	Destination MAC	GOOSE ID	Application ID	Configuration rev.	GOOSE index
GOOSE input 1	02:0c:cd:02:00:00	G2	2	2	1
GOOSE input 2	02:0c:cd:02:00:00	G2	2	2	2
GOOSE input 3	02:0c:cd:02:00:00	G2	2	2	3
GOOSE input 4	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 5	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 6	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 7	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 8	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 9	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 10	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 11	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 12	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 13	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 14	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 15	00:00:00:00:00:00				
GOOSE input 16	00:00:00:00:00:00				

3.30 pav. GOOSE žinučių konfigūravimo langas

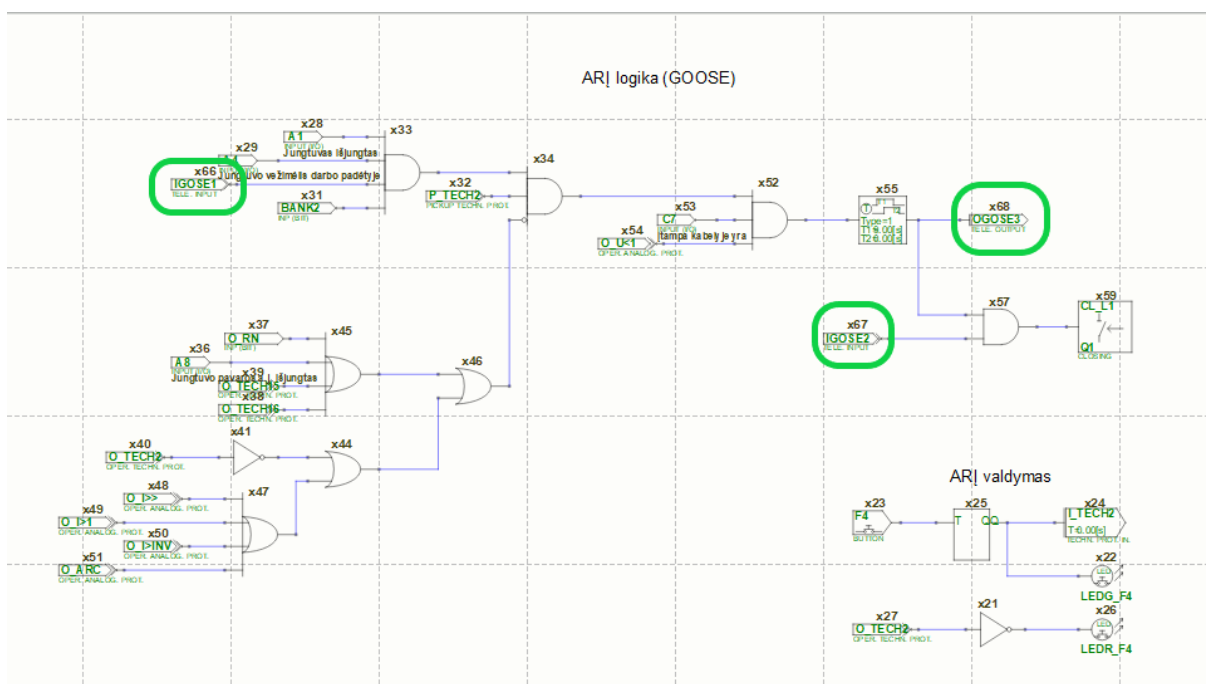
Išbandžius ir įsitikinus, jog visos funkcijos įgyvendintos GOOSE žinutėmis eksperimentų metodu išbandytos 3.4.1 skyrelyje funkcionaliai veikia analogiškai, pereinama prie praktinio funkcijų ištestavimo, įvertinant poveikio laikus.

- ARĮ funkcijos bandymas:



3.31 pav. T-11 įrenginio ARĮ (GOOSE) logika

Paveiksle 3.31 ir 3.32 pavaizduota ARĮ logika realizuota GOOSE žinutėmis iš esmės nesikeičia nuo 3.4.1 skyrelyje pateiktų ARĮ logikų, keičiasi tik signalus išduodantys ir priimančios elementai (pažymėta žalia spalva).



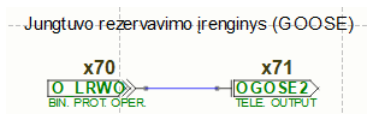
3.32 pav. L-300 įrenginio ARĮ (GOOSE) logika

Time Assessments: ARĮ laikas (GOOSE) in Magistrinis darbas										
				Time Assessment						
	Name	Ign...	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1	ARĮ laikas		State 2	ARĮ laikas 0>1	9.000 s			9.073 s	73.40 ms	●

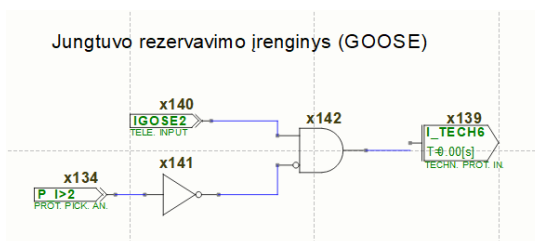
3.33 pav. ARĮ (GOOSE) funkcijos poveikio laiko rezultatai

Iš gauto rezultato matyti, kad ARĮ funkcija, realizuota GOOSE žinutėmis palyginus su 62.6ms greičiau. Iš gaunamo rezultato galima teigti, jog realizuojant funkciją GOOSE žinutėmis, funkcija suveikia greičiau. Iš 73.4ms nuokrypio laiko ~30ms sudaro jungtuvo išjungimo kontaktas, likusi 43.4ms dalis - logikos GOOSE žinučių pagrindu veikimas.

- JRĮ funkcijos bandymas:



3.34 pav. JRĮ (GOOSE) logika L-300 įrenginyje



3.35 pav. JRĮ (GOOSE) logika T-11 įrenginyje

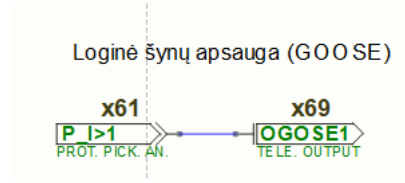
Paveiksluose 3.34 ir 3.35 pavaizduota jungtuvo rezervavimo įrenginio logika įgyvendinta GOOSE žinutėmis T-11 ir L-300 RAA įrenginiuose. Skirtingai nei praeitame skyrelyje, kur JRĮ yra realizuojama per gamykliškai paruošta RAA įrenginio funkciją, šiuo atveju reikalinga kurti loginę schemą, kadangi gamykliškai išpildytą JRĮ funkcija įrenginyje galima vykdyti tik naudojant binarinius įėjimus bei išėjimus.

Time Assessments: JRĮ laikas (GOOSE) in Magistrinis darbas										
				Time Assessment						
	Name	Ign...	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1	JRĮ laikas	2	stadija	JRĮ laikas 0>1	700.0 ms	100.0 ms	100.0 ms	749.0 ms	49.00 ms	●

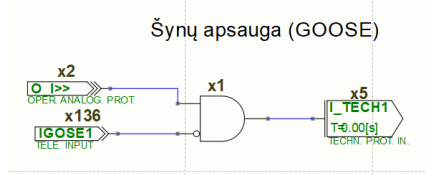
3.36 pav. JRĮ (GOOSE) funkcijos poveikio laiko bandymo rezultatai

Iš gauto rezultato matyti, kad JRĮ funkcija, realizuota GOOSE žinutėmis palyginus su įprastine metodika veikia 62.6ms greičiau. Iš gaunamo rezultato galima teigti, jog realizuojant funkciją GOOSE žinutėmis, funkcija suveikia greičiau. Iš 73.4ms nuokrypio laiko ~30ms sudaro jungtuvo išjungimo kontaktas, likusi 43.4ms dalis - logikos GOOSE žinučių pagrindu veikimas.

- loginės šynų apsaugos bandymas:



3.37 pav. LŠA (GOOSE) logika L-300 įrenginyje



3.38 pav. LŠA (GOOSE) logika T-11 įrenginyje

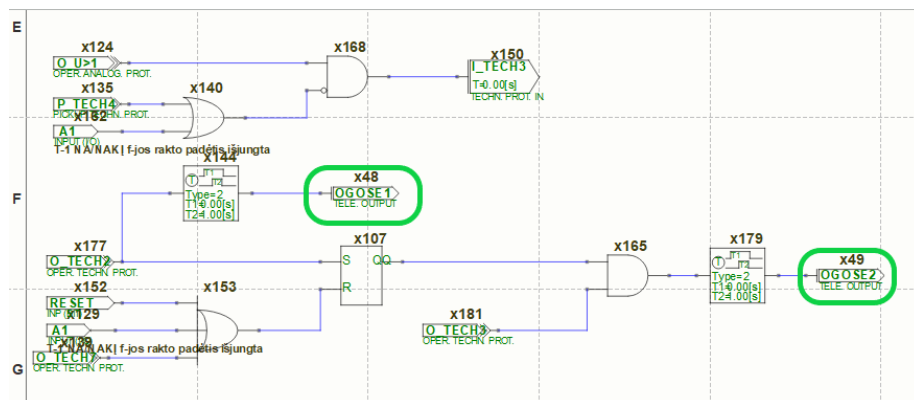
Loginėje šynų apsaugoje (paveikslai 3.37 ir 3.38) binarinius elementus pakeičia GOOSE elementai.

Time Assessments: LŠA blokavimo laikas in Magistrinis darbas										
					Time Assessment					
Name	Igno...	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment	
1 Blokavimo laikas		2 stadija	ŠA blokavimas 0>1	40.00 ms	40.00 ms	40.00 ms	33.30 ms	-6.700 ms	✓	
2 MSA II laikas		2 stadija	MSA II 0>1	500.0 ms	50.00 ms	50.00 ms	533.3 ms	33.30 ms	✓	

3.39 pav. Loginės šynų apsaugos (GOOSE) blokavimo laikas

Iš gauto rezultato (pav. 3.39) matyti jog LŠA apsaugos blokavimas įvyko per 33 ms ir suveikė MSA II laiptas linijoje.

- NA ir NAKĮ automatikos bandymas



3.40 pav. NA ir NAKĮ (GOOSE) logika

Time Assessments: NA NAKĮ (GOOSE) in Magistrinis darbas										
					Time Assessment					
Name	Igno...	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment	
1 NA laikas		2 stadija	NA 0>1	3.000 s	50.00 ms	200.0 ms	3.044 s	44.40 ms	✓	
2 NAKĮ laikas		3 stadija	NAKĮ 0>1	30.00 s	50.00 ms	200.0 ms	30.04 s	40.10 ms	✓	

3.41 pav. NA ir NAKĮ (GOOSE) poveikio laikas

Iš gauto rezultato paveikslėlyje 3.43 galima matyti, jog nukrovimo automatikai ir atjungti 10kV linijų jungtuvus atjungti prirėikė 3044.4 ms. Nukrovimo automatikos kartotiniam įjungimui suveikti prirėikė 30040.1 ms. Nuokrypis abėjų apsaugų atveju panašus 44.40ms ir 40.10ms atitinkamai.

- T-1 apsaugų poveikis

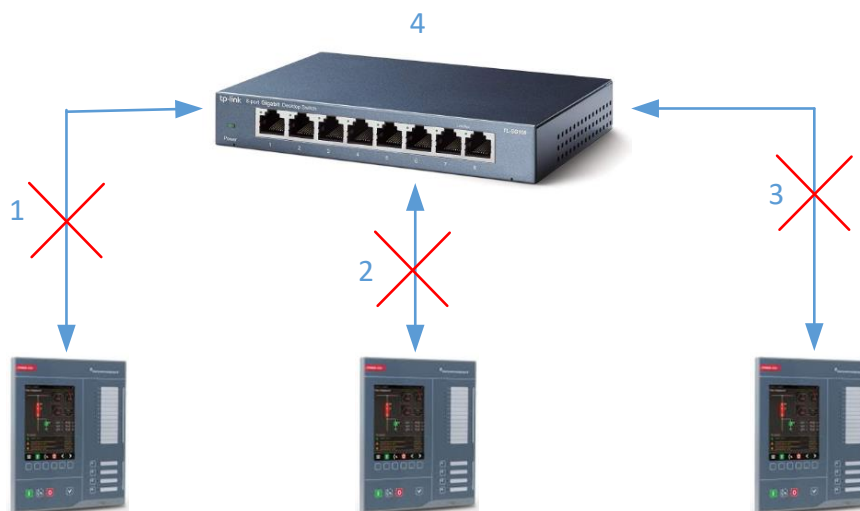
Time Assessments: T-1 apsaugų poveikis (GOOSE) in Magistrinis darbas										
Time Assessment										
	Name	Igno...	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assessment
1	JRĮ laikas		2 stadija	T-1 0>1	2.500 s	100.0 ms	100.0 ms	2.542 s	42.10 ms	✓

3.42 pav. T-1 apsaugų (GOOSE) poveikio laikas

Iš gauto rezultato paveikslėlyje 3.42 galima matyti, jog transformatoriaus T-1 apsauga 10kV šynų sekcijos įvadinį jungtuvą atjungti prirėikė 2542.10 ms.

3.4.3. Galimos neigiamas pasekmės taikant IEC61850 standartą

Taikant IEC61850 standartą relinės apsaugos ir automatikos funkcijoms realizuoti, pastebėtas vienas neigiamas šio standarto bruožas, kurio tinkamai neįvertinus, gali būti pilnai neužtikrinamas vienas iš pagrindinių relinės apsaugos ir automatikos reikalavimų – patikimumas. Relinės apsaugos ir automatikos funkcijos gali tapti neveiksnios dingus sąsajai tarp įrenginių GOOSE žinutėmis. Tokia situacija gali susidaryti, iškilus bėdoms su vietinio ryšio tinklu, kadangi šiuo atveju relinės apsaugos ir automatikos veikimas tiesiogiai priklauso nuo vietinio ryšio tinklo būklės.



3.43 pav. Neveiksni vietinio tinklo schema

Kaip pavyzdys (3.43 pav.), komutatoriaus (4 įrenginys), kuris apjungia visą vietinį tinklą, gedimo atveju, visos skirstomojo tinklo relinės apsaugos ir automatikos funkcijos, kurioms būtinas kelių RAA įrenginių tarpusavio sąsaja – tampa neveiksnios. Analogiškai visos funkcijos tampa neveiksnios ir nutrūkus, bet kuriam ryšiui tarp RAA įrenginių ir komutatoriaus (1, 2 ir 3 ryšinės sąsajos) Tokiu atveju RAA valdikliai saugo tiktai komutacinius įrenginius, priskirtus šiam RAA įrenginiui. Nuo tokių pasekmių elektros skirstomąjį tinklą galima apsaugoti dvejais keliais:

1. galima naudojant dubliuotos topologijos vietinį tinklą, tačiau išauga naudojamos įrangos kaštai, kadangi įrenginiai turi palaikyti PRP funkciją, bei reikalingas didesnis kiekis komunikacinės įrangos ir sujungimų. Tačiau taip žymiai sumažinama tikimybė, jog bus prarandamas relinės

apsaugos ir automatikos funkcionalumas, eksploatavimo metu, dėl vieno iš vietinių tinklų gedimo.

2. antrasis variantas – svarbioms funkcijoms, be kurių ženkliai būtų atsiliepta tinklo patikimumui, kaip pavyzdys LŠA ir JRĮ, įgyvendinti fizinėmis binarinių išėjimų ir binarinių įėjimų sąsajomis.

3.4.4. Palyginimas tarp bandymo apsaugų išbandymo įprastiniu būdu ir GOOSE žinutėmis.

3.15 lentelė Gautų rezultatų 3.4.1 ir 3.4.2 poskyriuose palyginimas

Bandoma funkcija	Įprastinė metodika, ms	GOOSE žinutės, ms	Skirtumas tarp poveikio laikų
Loginė šynų apsauga, blokavimas	66 ms	33.3 ms	32.7 ms
Automatinis rezervo įjungimas	9136 ms	9073 ms	63 ms
Jungtuvo rezervavimo įrenginys	276 ms	249 ms	27 ms
T-1 apsaugų poveikis	2573 ms	2542 ms	31 ms
Nukrovimo automatika	3078 ms	3044ms	34 ms
Nukrovimo automatikos kartotinis įjungimas	30070.2 ms	30040.1ms	30.1 ms

Iš 3.4.1 ir 3.4.2 skyreliuose atlikto eksperimentinių bandymų gauti rezultatai pateikti lentelėje 3.14. Visoms bandytoms funkcijoms gautas panašus rezultatas – naudojantis GOOSE žinutėmis gautas maždaug ~30ms mažesnis poveikio nuokrypis nuo duoto nustatymo, kadangi eliminuojamas binarinio išėjimo suveikimo laikas.

Nuokrypis relinę apsaugą ir automatiką realizuojant GOOSE žinutėmis išlieka vis tiek, kadangi galutinis išjungimas įvykdomas binarinio išėjimo (~30ms), taip pat į nuokrypį patenka vidinei logikai suveikti reikalingas laiko momentas. Vienintelis atvejis kuriame yra didesnis, skirtumas tarp galutinio poveikio laikų yra automatinio rezervavimo įjungimas, tačiau šiuo atveju reikia atsižvelgti į kelis faktorius:

1. ARĮ logikoje prasidėjus ARĮ ciklui, GOOSE žinutės keliauja tokia tvarka L-300 įrenginys → T-11 įrenginys → L-300 įrenginys. Kitais vyksta poveikis iš vieno įrenginio į kitą, be grįžtamojo ryšio.
2. prieš išsiunčiant išjungtos jungtuvo padėties patvirtinimo žinutę iš T-11 į L-300, jog jungtuvo padėtis T-11 įvade išjungta turi įvykti jungtuvo išjungimo procesas, RAA įrenginys tik tada išsiunčia GOOSE žinutę, kad jungtuvas yra išjungtas. Šis procesas užtrunka tas papildomas gaunamas 30 ms, palyginus su kitais poveikio laiko nuokrypiais.

Išvados

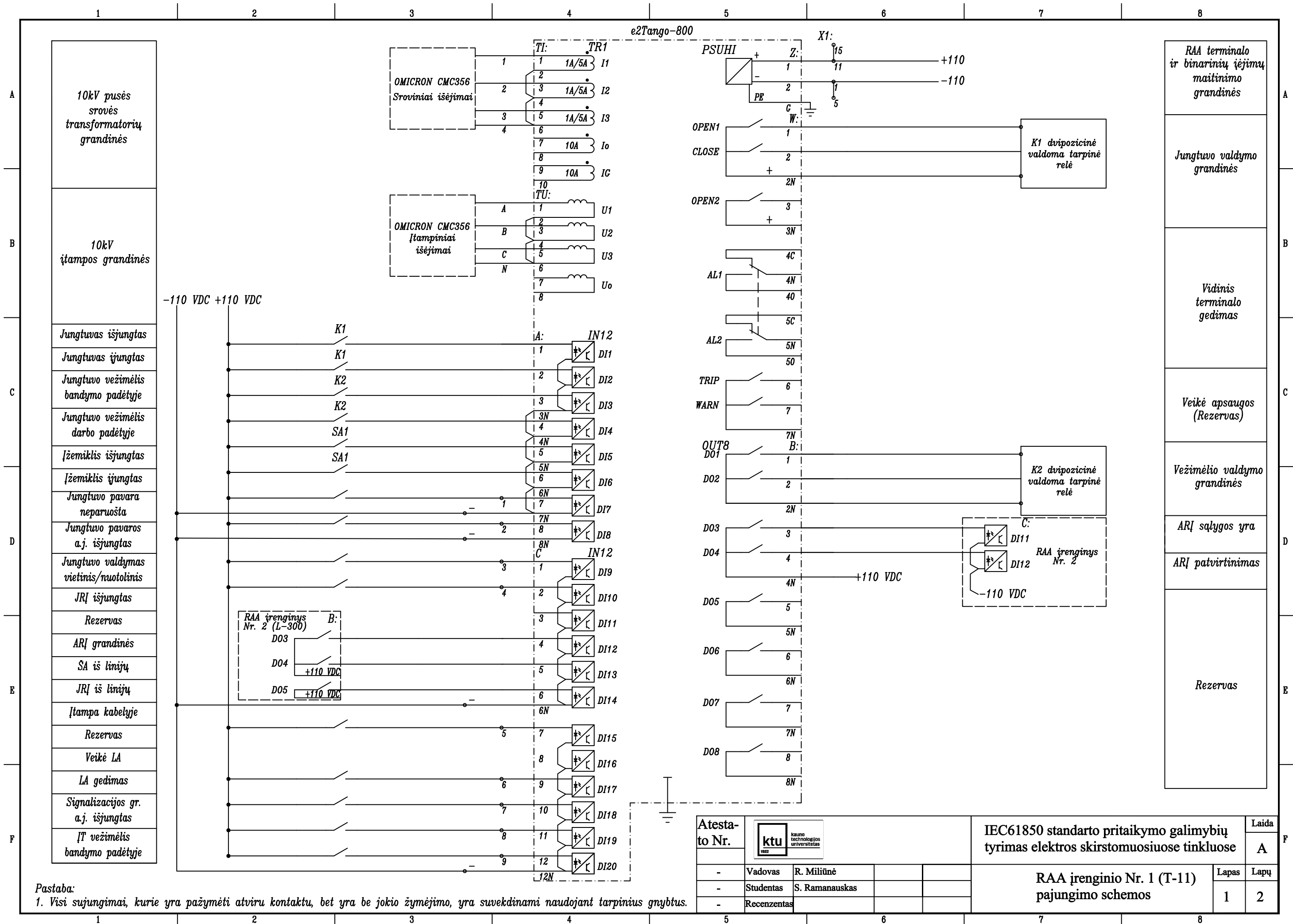
1. Išanalizuotos skirstomajame tinkle naudojamos pagrindinės relinės apsaugos ir automatikos funkcijos (MSA, LŠA, JRĮ, ARĮ, AKĮ, NA, NAKĮ, ADN, DAKĮ ir t.t.). Šios apsauginės funkcijos naudojamos elektros tinklo įrenginiams saugoti nuo trumpųjų jungimų, bei tinklui valdyti. Išanalizuotas jų veikimo principai, kurie pritaikyti eksperimentiniai darbo daliai. Išskirti pagrindiniai relinės apsaugos ir automatikos reikalavimai – patikimumas, selektyvumas ir greitaveika.
2. Išsiaiškintos pagrindiniai IEC61850 standarto suteikiamos akcentai – skirtingų gamintojų įrenginių suderinamumas, vienodos struktūros duomenų perdavimas (standartizuota XML failų bazė), sąveika tarp įrenginių GOOSE žinutėmis, PRP, išmatuotų verčių (matavimų) perdavimas komunikaciniu protokolu tarp įrenginių.
3. IEC61850 standartą pritaikymą skirstomajame tinkle galima pritaikyti trimis atvejais: pirma, komunikacija tarp RAA ir RTU įrenginių IEC61850 komunikacijos protokolu, taip panaudojant standartizuotą SCL pastočių konfigūravimo kalbą. Antras atvejis, GOOSE žinučių skirstomojo tinklo relinei apsaugai ir automatikai realizuoti, eliminuojant poreikį naudoti binarinių įėjimus ir išėjimus siekiant RAA įrenginių tarpusavio sąveikos. Trečias atvejis, PRP topologijos panaudojimas, siekiant padidinti pastočių ryšių tinklo patikimumą.
4. Tiriamojoje dalyje naudojant realią įrangą išbandyta realizuoti išanalizuotą teorinėje dalyje skirstomojo tinklo relinę apsaugą ir automatiką naudojant tiek įprastą metodiką (binariniais elementais), tiek GOOSE žinutes. Visų bandymų rezultatai fiksuoti, gautas rezultatai parodė, kad visais atvejais naudojant GOOSE žinutes didėja apsaugų greitaveika (vidurkis ~30ms), kadangi eliminuojami, išėjimų bei įėjimų poveikio laikai. Liekančius nuokrypius nuo RAA nuostatų sudaro paskutinio išėjimo elemento poveikio laikas, bei vidinės logikos suveikimo laikas.
5. Vykdamas eksperimentinį tyrimą, bandant GOOSE žinučių funkcionalumą pastabėta viena ryški potenciali neigiama pasekmė taikant IEC61850 standartą apsauginėms funkcijoms įgyvendinti. Bet koks mažiausias trukdis / gedimas vietiniame pastotės ryšių tinkle ir visos funkcijos įgyvendintos IEC61850 standartu tampa neaktyvios. Todėl užtikrinti patikimumą, yra būtinas PRP funkcijos naudojimas dubliuojant ethernetą, iškeliant įgyvendinimo kaštus. Arba pagal poreikį, tokias funkcijas kaip LŠA ir JRĮ įgyvendinti fizinėmis jungtimis, taip garantuojant funkcionalumą.
6. Realiai bandant IEC61850 komunikacijos protokolą pastebėta, jog supaprastėja įrenginių konfigūravimo procesas. Turint standartizuota duomenų bazę eliminuojamas signalų pririšimo prie tam tikrų adresų procesas, kadangi naudojami iš įrenginių komunikacinio išėjimo nuskaityti .scd tipo failai

Literatūros sąrašas


1. SVINKŪNAS, G., Navickas, A. Elektros energetikos pagrindai. Kauno technologijos universitetas, 2011 m.
2. Carl Kriger, S. Behardien, John Retonda, A Detailed Analysis of the GOOSE Message Structure in an IEC 61850 Standard-Based Substation Automation System. Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/293619784> (žiūrėjimo data 2019-05-20)
3. Ralph Mackiewicz, Technical Overview and Benefits of the IEC 61850 Standard for Substation Automation prieiga per internetą: https://library.e.abb.com/public/04519389e504d7ddc12576ff0070704d/3BUS095131_en_IEC61850_Overview_and_Benefits_Paper_General.pdf (žiūrėjimo data 2019-05-20)
4. Yogesh Bhamare, Utilization of IEC 61850 GOOSE messaging in protection applications in distribution network. Prieiga per internetą: <https://pdfs.semanticscholar.org/94ee/fc5ec829152adfc50e5d6a65f432e92cb62d.pdf> (žiūrėjimo data 2019-05-20)
5. Mayada Daboul, Jaroslava Orságová, Interoperability testing for IEC61850 Based Substation Automation System. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/326047207_Interoperability_testing_for_IEC61850_based_substation_automation_system (žiūrėjimo data 2019-05-20)
6. Sushil Joshi, Utilization of GOOSE in MV Substation. Prieiga per internetą: <http://www.iitk.ac.in/npsc/Papers/NPSC2010/6114.pdf> (žiūrėjimo data 2019-05-20)
7. Byungtae Jang, Alidu Abubakari, Namdae Kim, Development of a Model Driven ACSI Conformance Testing for IEC 61850-Based IED. Prieiga per internetą: <https://www.scirp.org/Journal/PaperInformation.aspx?PaperID=88227> (žiūrėjimo data 2019-05-20)
8. Micaela Caserza Magro, Paolo Pinceti, Luca Rocca, Giorgio Rossi, Safety related functions with IEC 61850 GOOSE messaging. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061517328569> (žiūrėjimo data 2019-05-20)
9. S.M. Suhail Hussain, Mohd Asim Aftab, Iqbal Ali, A novel PRP based deterministic, redundant and resilient IEC 61850 substation communication architecture. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213020916302166> (žiūrėjimo data 2019-05-20)
10. Aurabind Pal, Roma Dash, A Paradigm Shift in Substation Engineering: IEC 61850 Approach. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017315002315> (žiūrėjimo data 2019-05-20)
11. Prof. Dr. Hubert Kirmann, Introduction to the IEC 61850 electrical utility standard. Prieiga per internetą: http://www.solutil.ch/kirmann/Industrial_Automation/AI_421_IEC61850.pdf
12. Enilit RTU user manual, prieiga per internetą : http://www.enilit.lt/uploads/docs/Enilit_RTU_user_manual.pdf (žiūrėjimo data 2019-05-20)
13. Robert O' Reilly, Tong Chin Beng, Gerrit Dogger, Hidden Challenges in the Implementation of 61850 in Larger Substation Automation Projects. Prieiga per internetą: <https://pdfs.semanticscholar.org/02c7/2e128c2937b31474c40cb5a5bde50f06ecc5.pdf> (žiūrėjimo data 2019-05-20)
14. e²Tango-800 user manual
15. IEC 61850 Basics, Application and Testing.

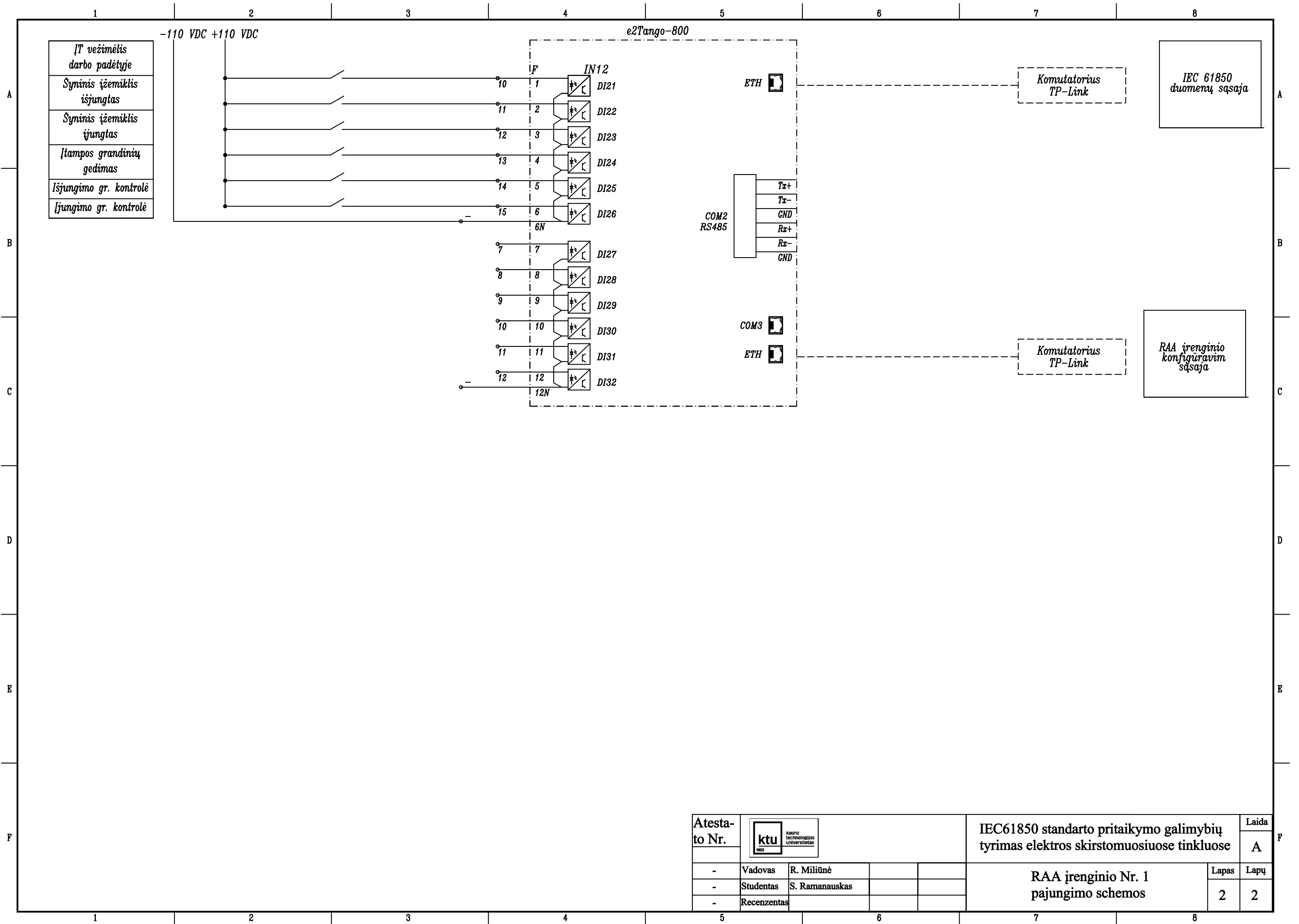
Priedai


- 1 priedas. RAA įrenginio Nr. 1 (T-11) pajungimo schemos**
- 2 priedas. RAA įrenginio Nr. 2 (L-300) pajungimo schemos**
- 3 priedas. T-11 logika**
- 4 priedas. L-300 logika**
- 5 priedas. R-1 logika**
- 6 priedas. OMICRON bandymo stendu darytų bandymų pilna ataskaita**

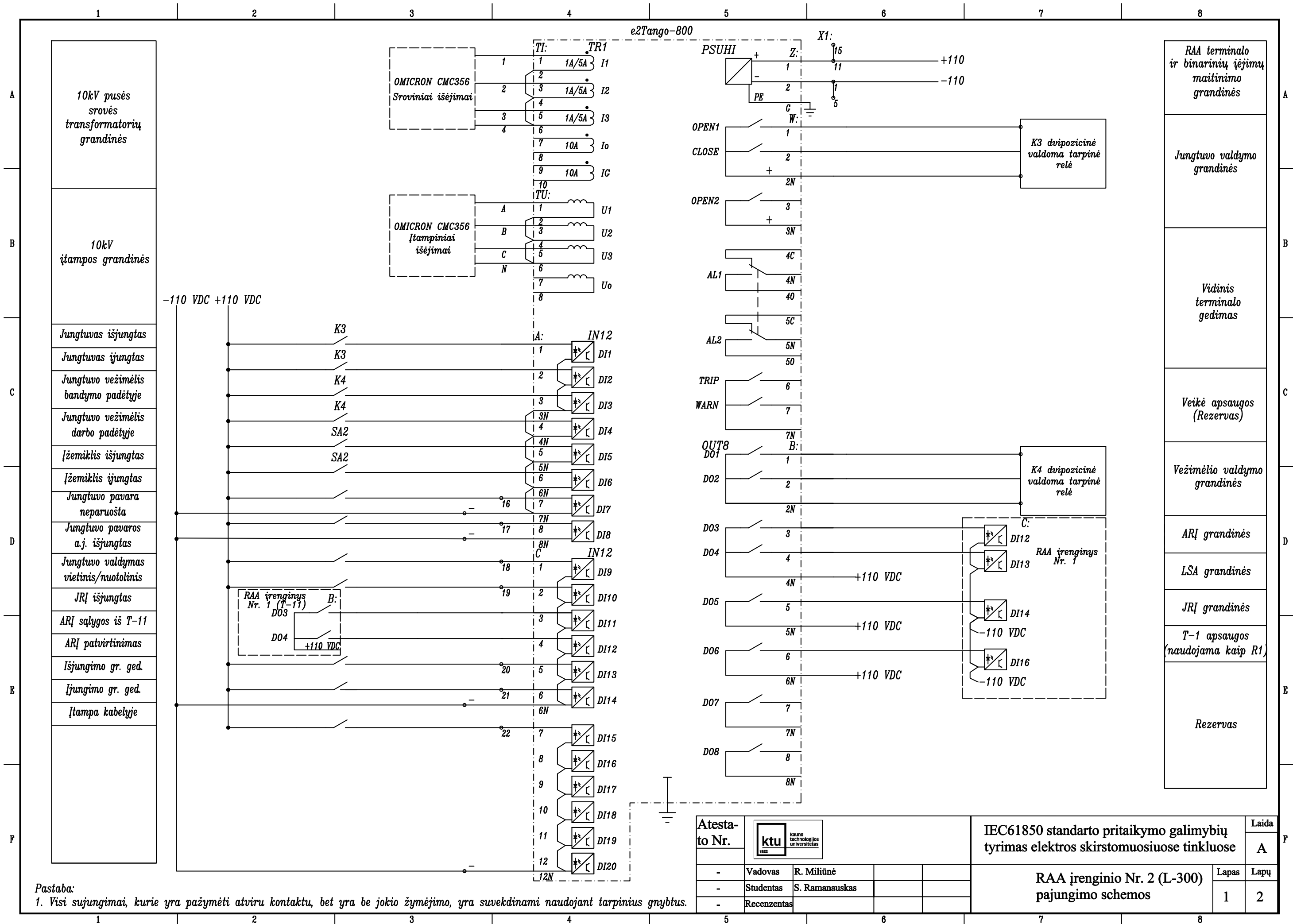


Pastaba:
1. Visi sujungimai, kurie yra pažymėti atviru kontaktu, bet yra be jokio žymėjimo, yra suvekinami naudojant tarpinius gnybtus.


Atesta- to Nr.	 Kauno technologijos universitetas 1922		IEC61850 standarto pritaikymo galimybių tyrimas elektros skirstomuosiuose tinkluose		Laida
	-	Vadovas	R. Miliūnė		A
	-	Studentas	S. Ramanauskas		
-	Recenzentas				
RAA įrenginio Nr. 1 (T-11) pajungimo schemas					Lapas
					1
					Lapų
					2

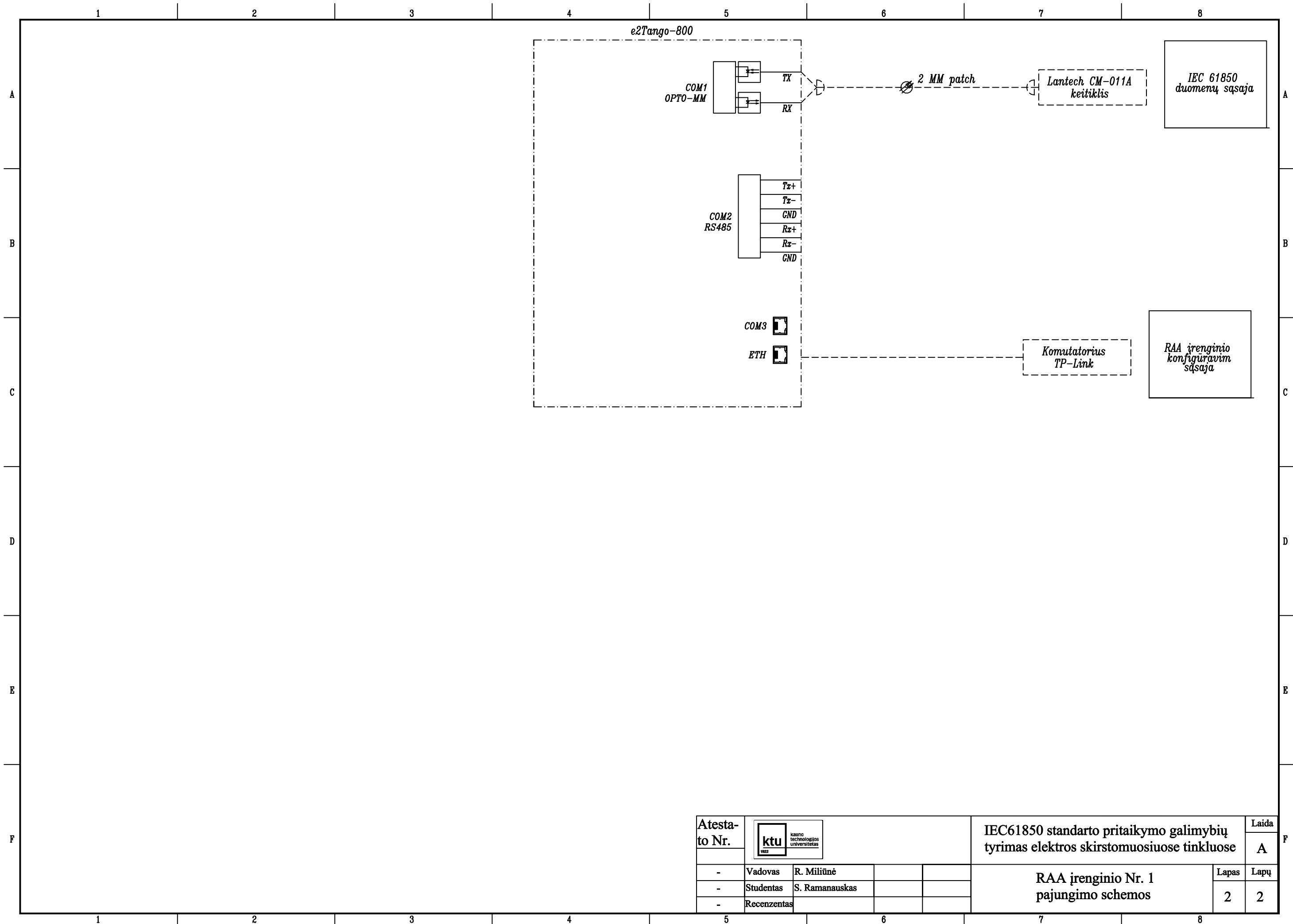



Atesta- to Nr.	 Kauno technologijos universitetas 1922				IEC61850 standarto pritaikymo galimybių tyrimas elektros skirstomuosiuose tinkluose		Laida
					RAA įrenginio Nr. 1 pajungimo schemas		A
-	Vadovas	R. Miliūnė			Lapas	Lapų	
-	Studentas	S. Ramanauskas			2	2	
-	Recenzentas						



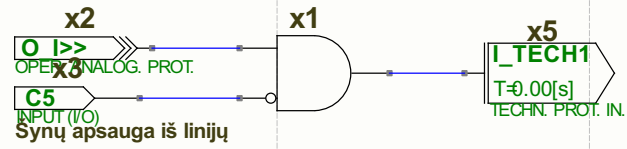
Pastaba:
 1. Visi sujungimai, kurie yra pažymėti atviru kontaktu, bet yra be jokio žymėjimo, yra suvekinami naudojant tarpinius gnybtus.

Atesta- to Nr.	 Kauno technologijos universitetas 1922		IEC61850 standarto pritaikymo galimybių tyrimas elektros skirstomuosiuose tinkluose		Laida
	-	Vadovas	R. Miliūnė		A
	-	Studentas	S. Ramanauskas		
-	Recenzentas				
RAA įrenginio Nr. 2 (L-300) pajungimo schemas					Lapas
					1
					Lapų
					2

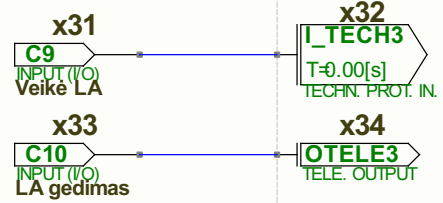


Atesta- to Nr.	 Kauno technologijos universitetas 1922				IEC61850 standarto pritaikymo galimybių tyrimas elektros skirstomuosiuose tinkluose		Laida
					RAA įrenginio Nr. 1 pajungimo schemas		A
-	Vadovas	R. Miliūnė			Lapas	Lapų	
-	Studentas	S. Ramanauskas					
-	Recenzentas						
					2	2	

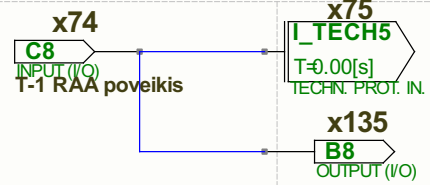
Šynų apsauga



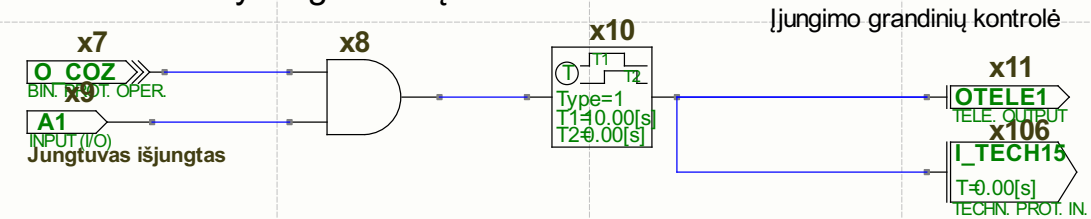
Šynų lanko apsauga



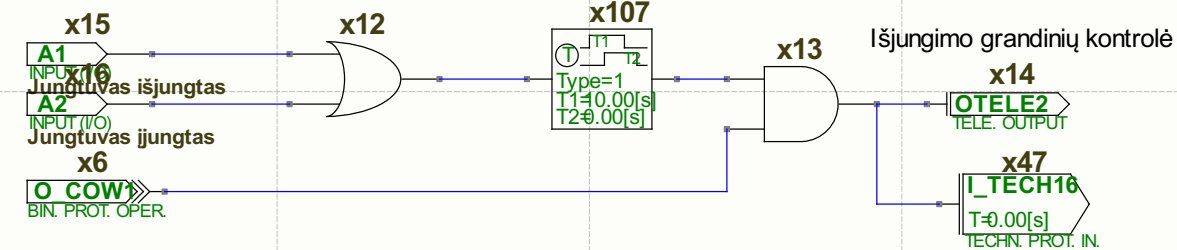
Išjungimas nuo T-1 RAA



Valdymo grandinių kontrolė

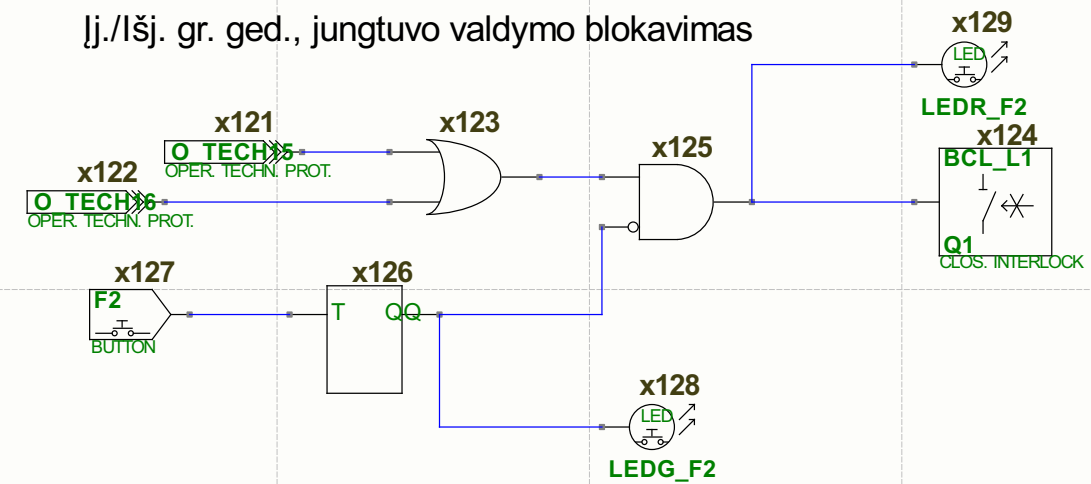


Jungimo grandinių kontrolė

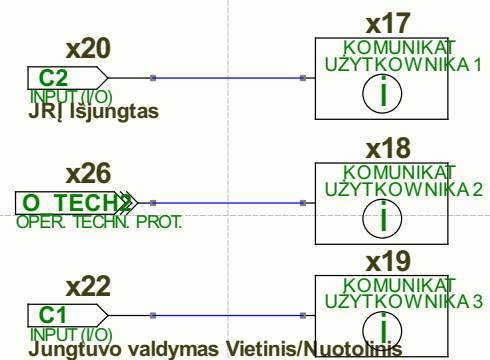


Išjungimo grandinių kontrolė

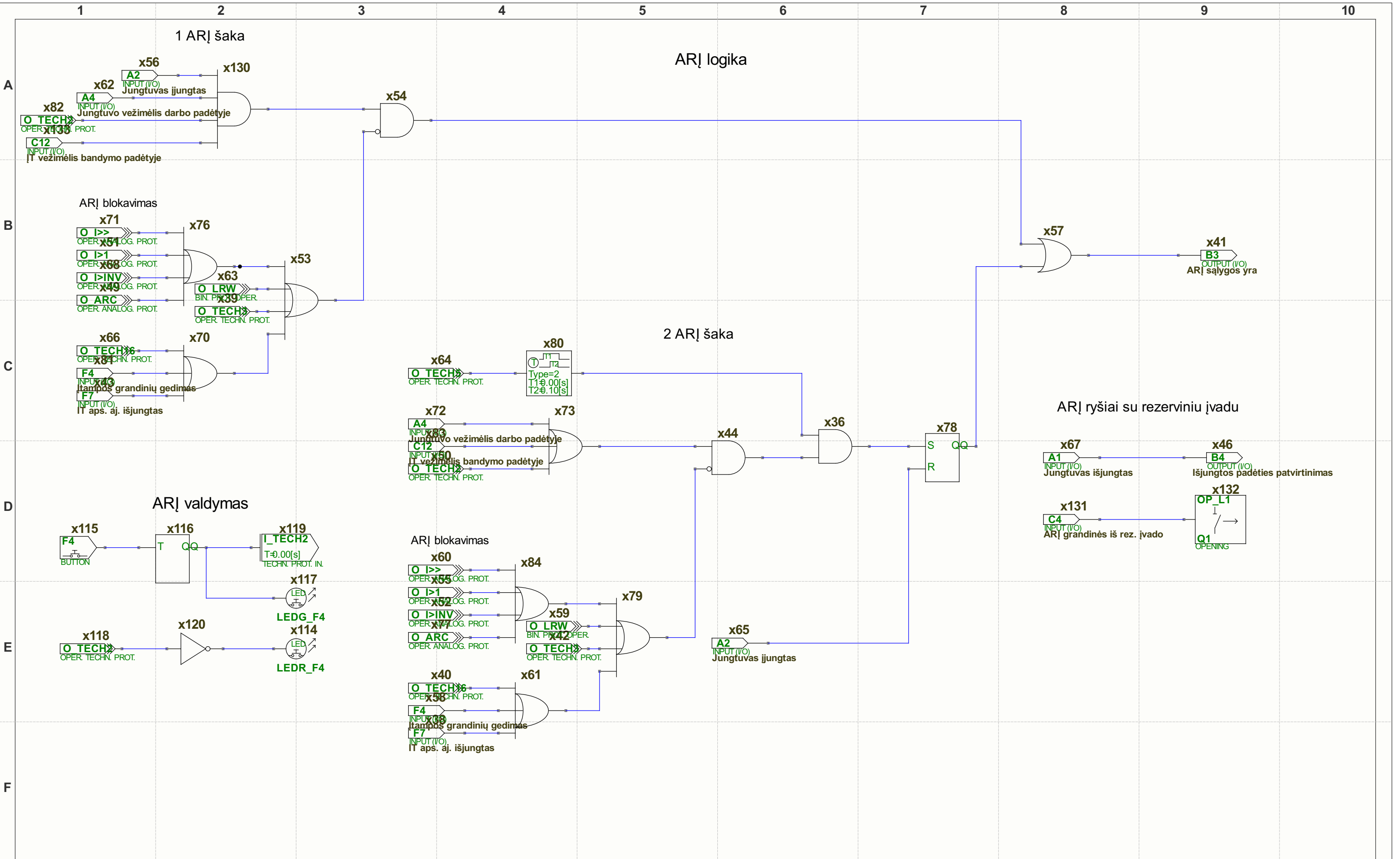
Įj./Išj. gr. ged., jungtuvo valdymo blokavimas



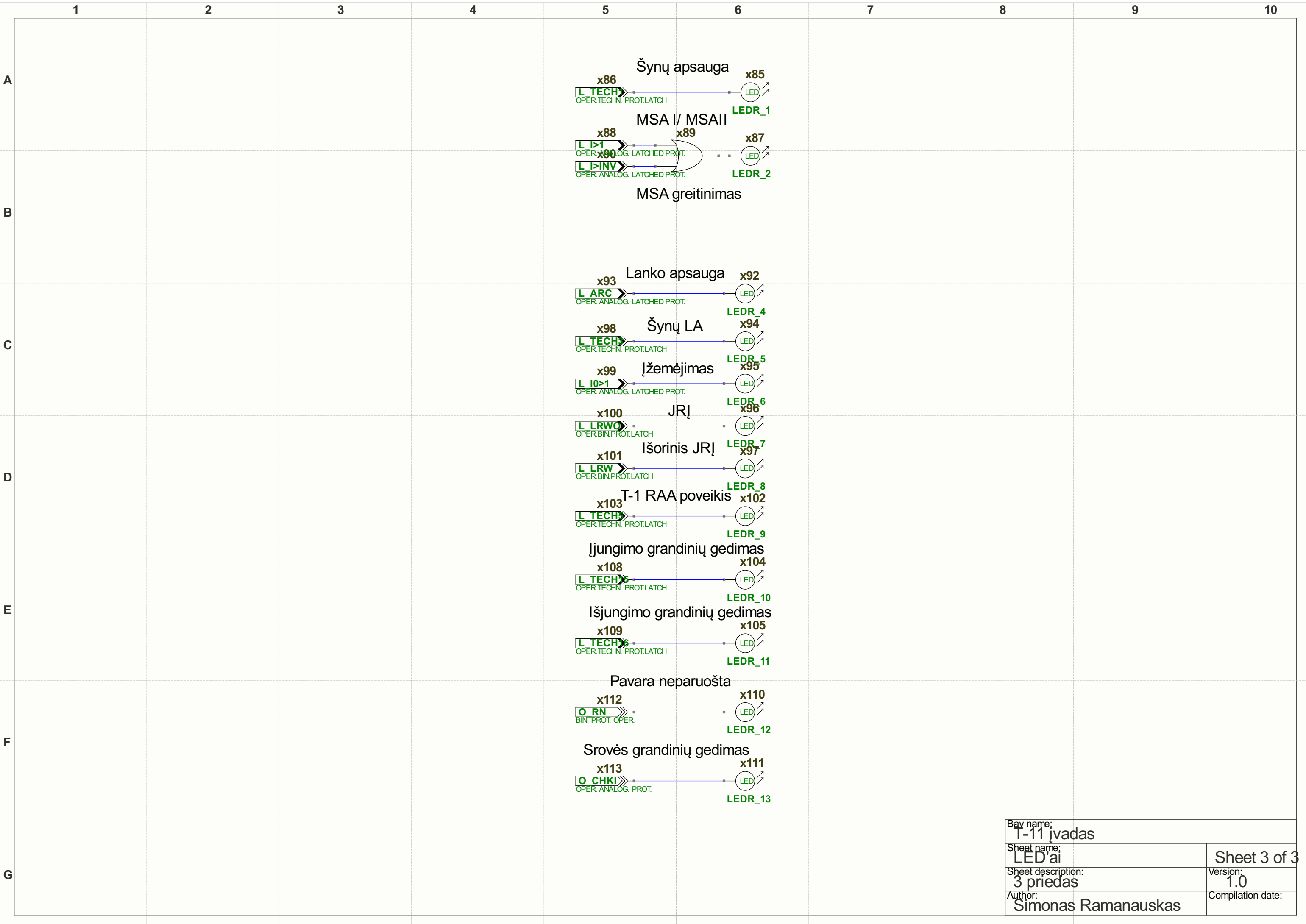
Ekranų užrašai



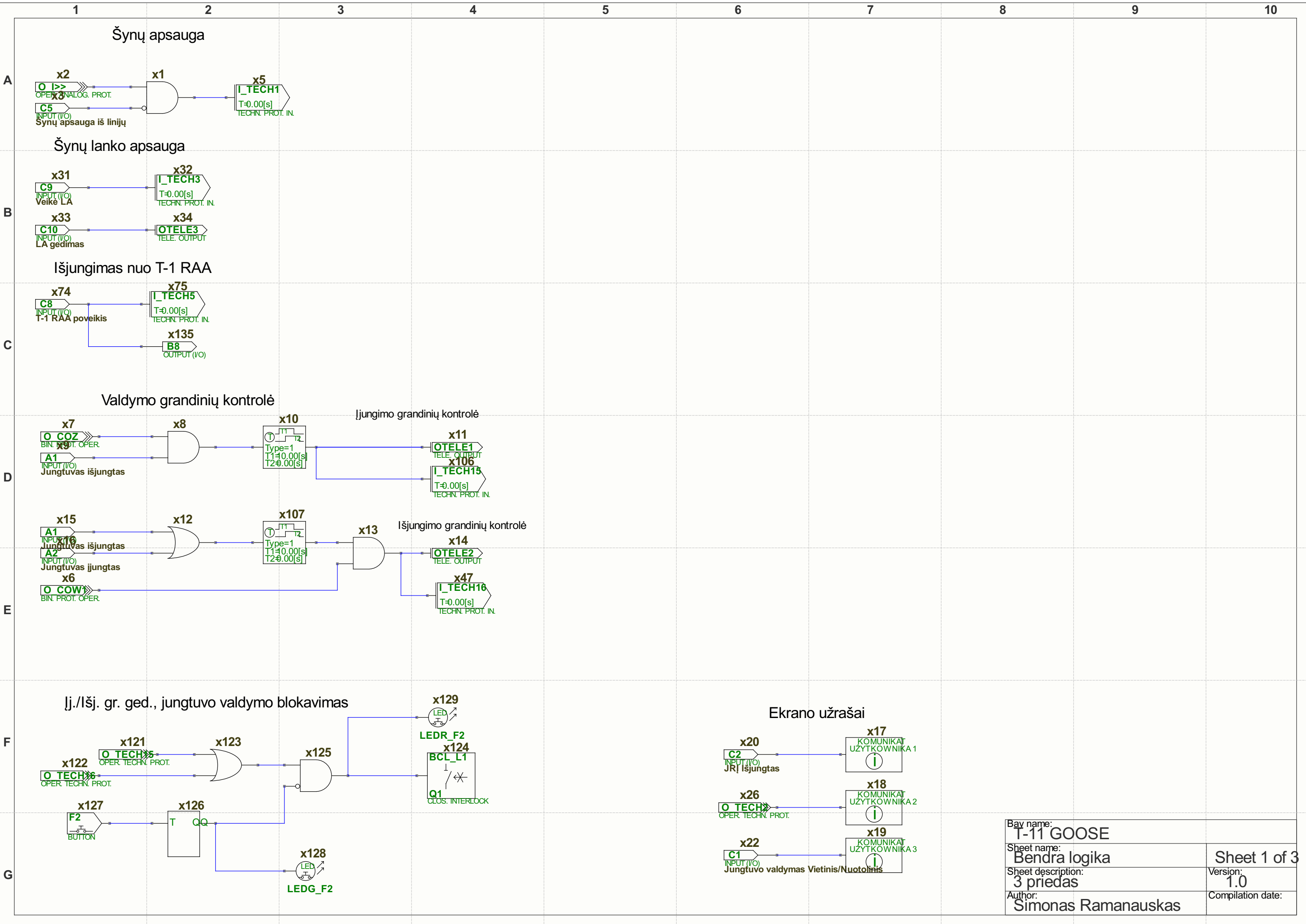
Bay name:	T-11 įvadas	
Sheet name:	Bendra logika	Sheet 1 of 3
Sheet description:	3 priedas	Version: 1.0
Author:	Simonas Ramanauskas	Compilation date:



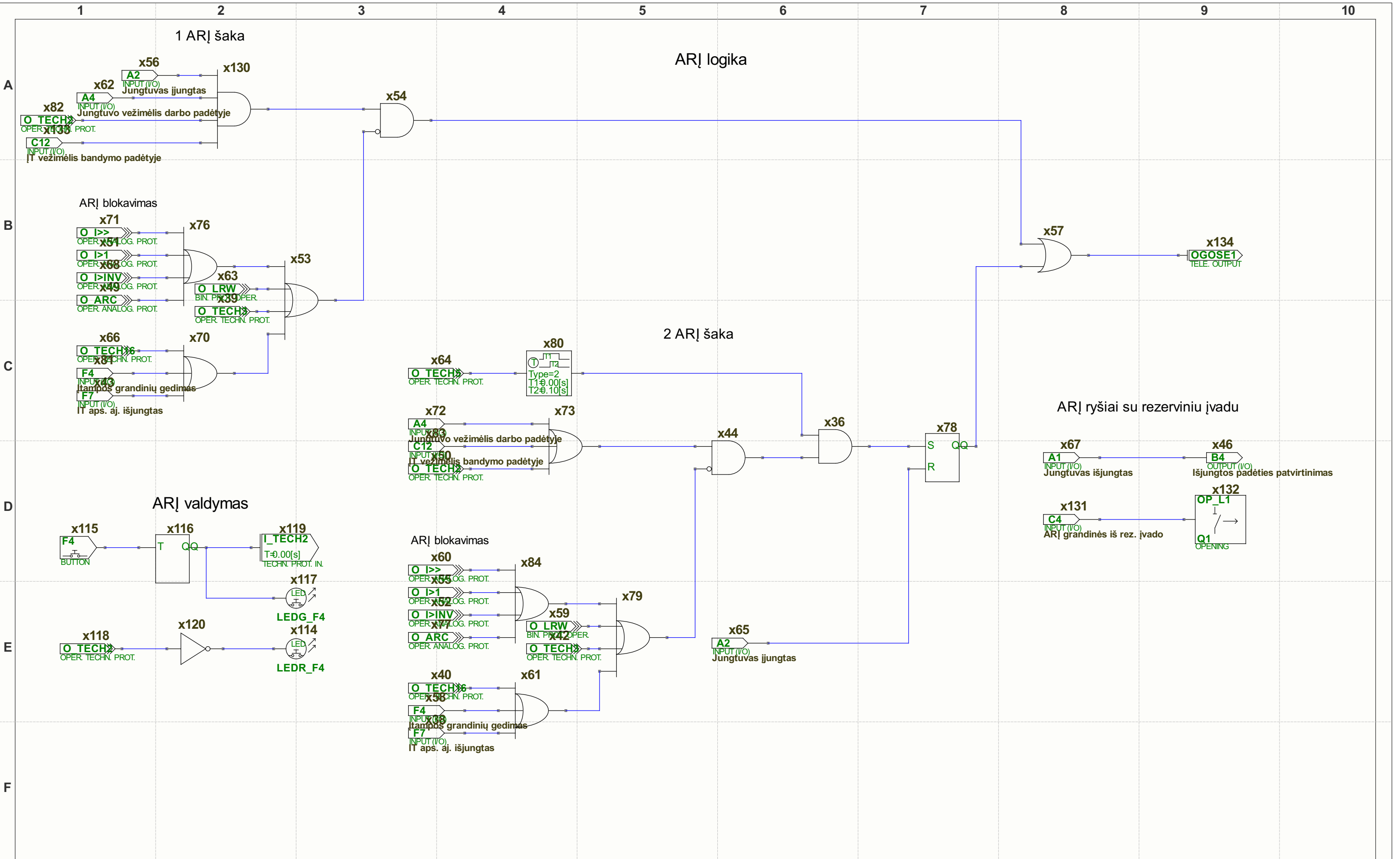
Bay name:	T-11 įvadas	
Sheet name:	ARJ	
Sheet description:	3 priedas	Sheet 2 of 3
Author:	Simonas Ramanauskas	Version: 1.0
		Compilation date:



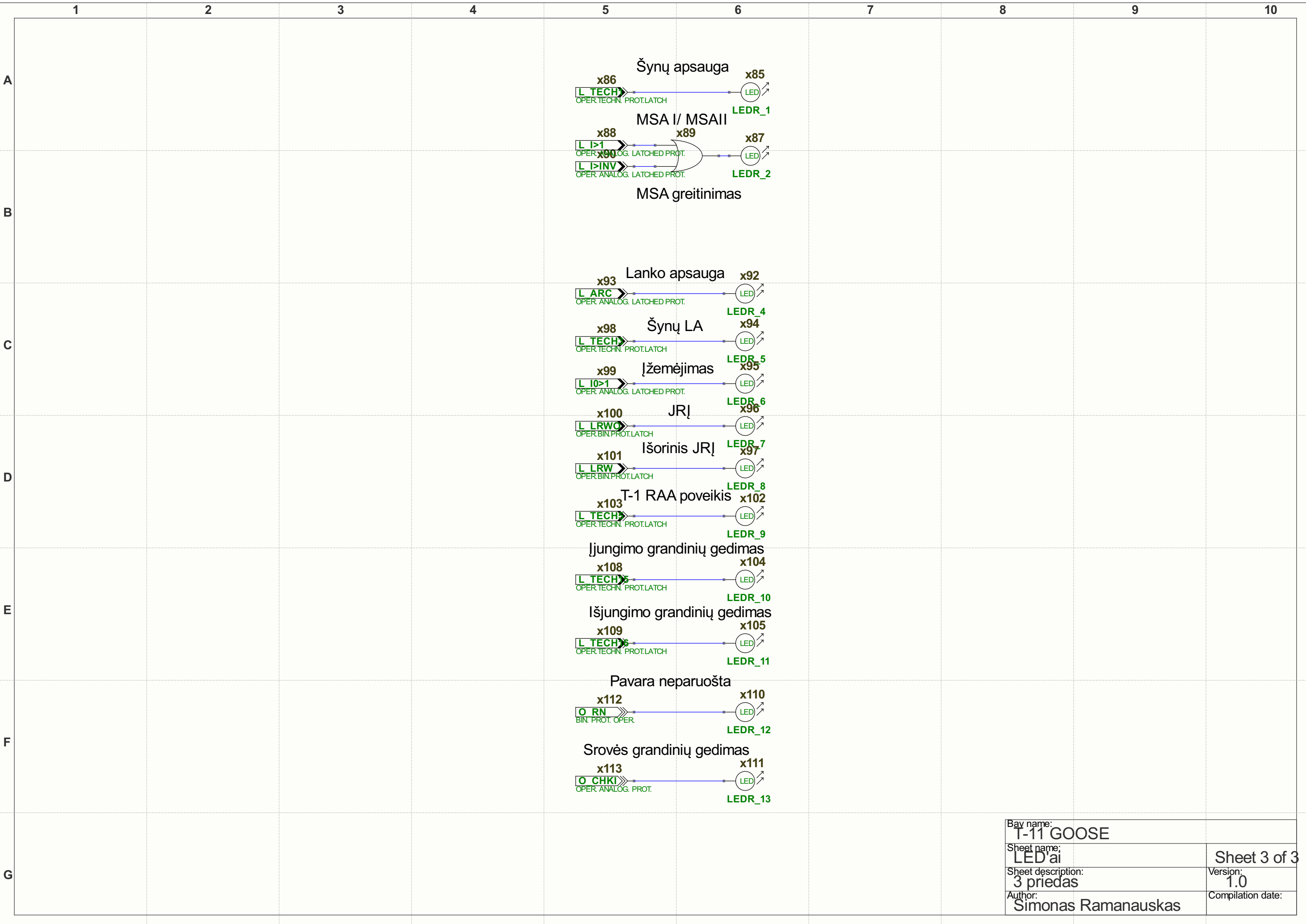
Bay name:	T-11 įvadas	
Sheet name:	LED'ai	Sheet 3 of 3
Sheet description:	3 priedas	Version: 1.0
Author:	Simonas Ramanauskas	Compilation date:



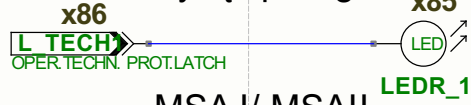
Bay name:	T-11 GOOSE	
Sheet name:	Bendra logika	Sheet 1 of 3
Sheet description:	3 priedas	Version: 1.0
Author:	Simonas Ramanauskas	Compilation date:



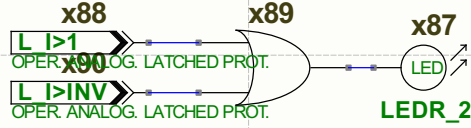
Bay name: T-11 GOOSE	
Sheet name: ARJ	
Sheet description: 3 priedas	Sheet 2 of 3
Author: Simonas Ramanauskas	Version: 1.0
Compilation date:	



Šynų apsauga

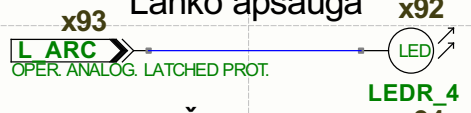


MSA I/MSAII

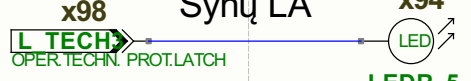


MSA greitinimas

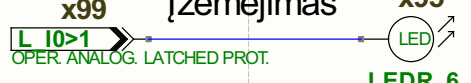
Lanko apsauga



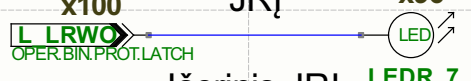
Šynų LA



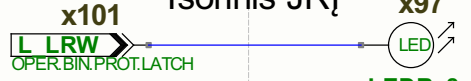
Įžemėjimas



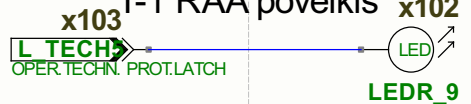
JRĮ



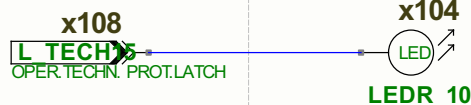
Išorinis JRĮ



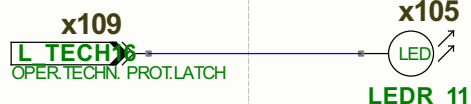
T-1 RAA poveikis



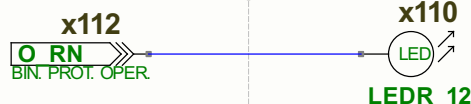
Įjungimo grandinių gedimas



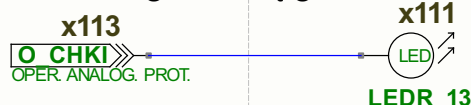
Išjungimo grandinių gedimas



Pavara neparuošta



Srovės grandinių gedimas



Bay name:	T-11 GOOSE	
Sheet name:	LED'ai	Sheet 3 of 3
Sheet description:	3 priedas	Version: 1.0
Author:	Simonas Ramanauskas	Compilation date:

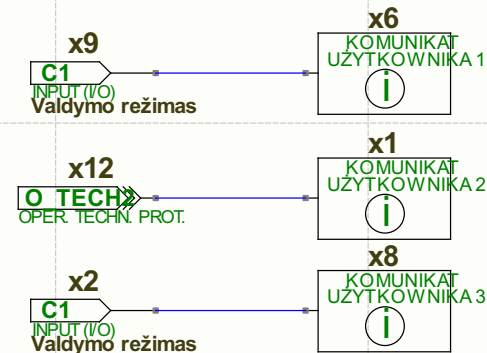
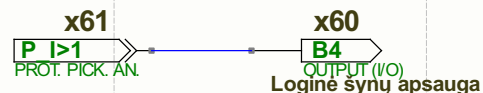
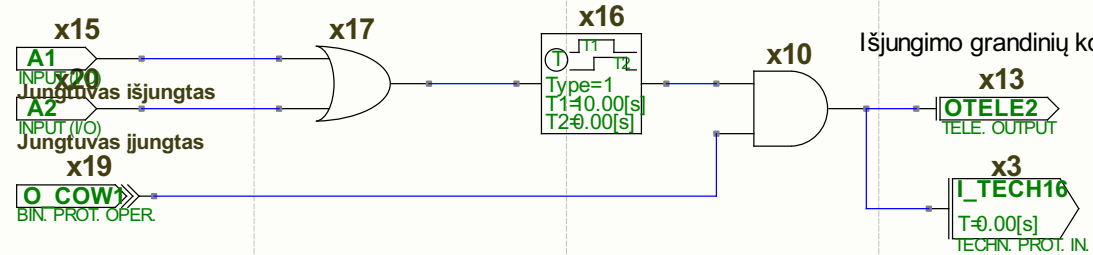
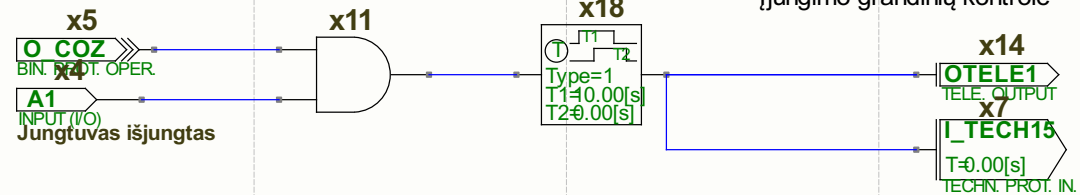
Valdymo grandinių kontrolė

Ijungimo grandinių kontrolė

Išjungimo grandinių kontrolė

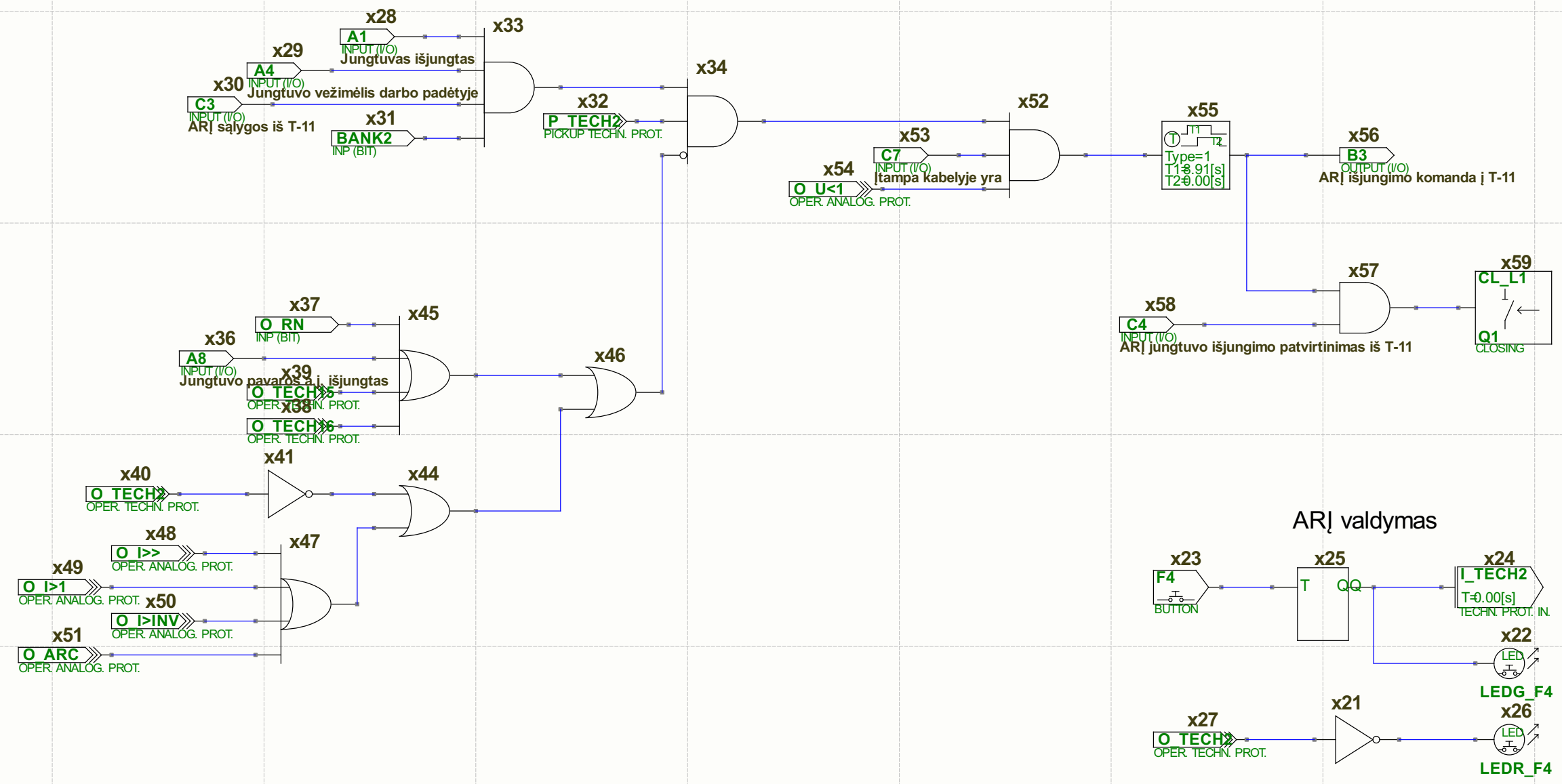
Loginė šynų apsauga

Ekrano užrašai



Bay name: L-300	Sheet name: Bendra logika	Sheet 1 of 2
Sheet description: 4 priedas		Version: 1.0
Author: Simonas Ramanauskas	Compilation date:	

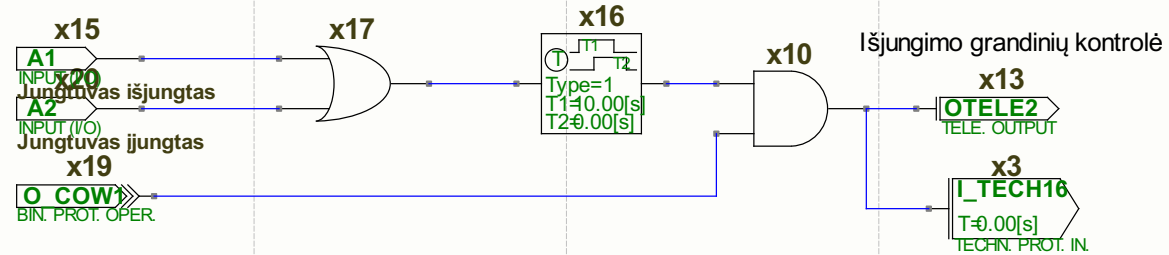
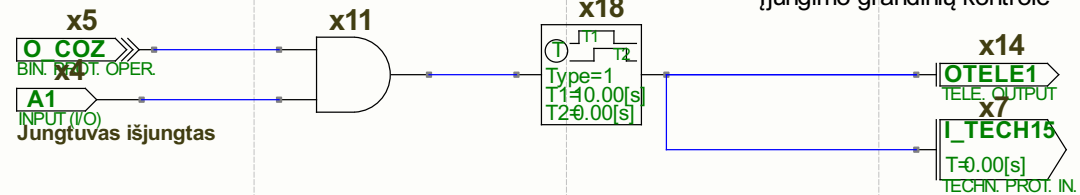
ARĮ logika



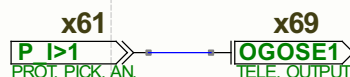
Bay name:	L-300
Sheet name:	ARĮ logika
Sheet description:	4 priedas
Author:	Simonas Ramanauskas
Sheet 2 of 2	Version: 1.0
	Compilation date:

Valdymo grandinių kontrolė

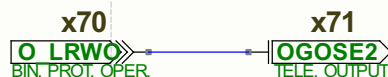
Išjungimo grandinių kontrolė



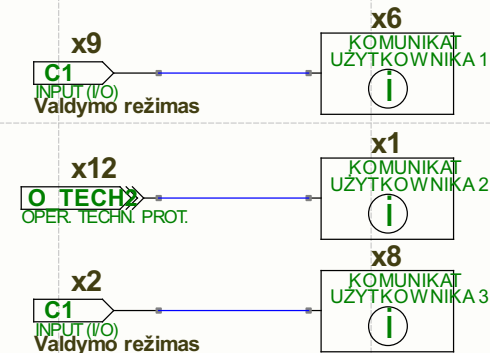
Loginė šynų apsauga (GOOSE)



Jungtuvo rezervavimo įrenginys (GOOSE)

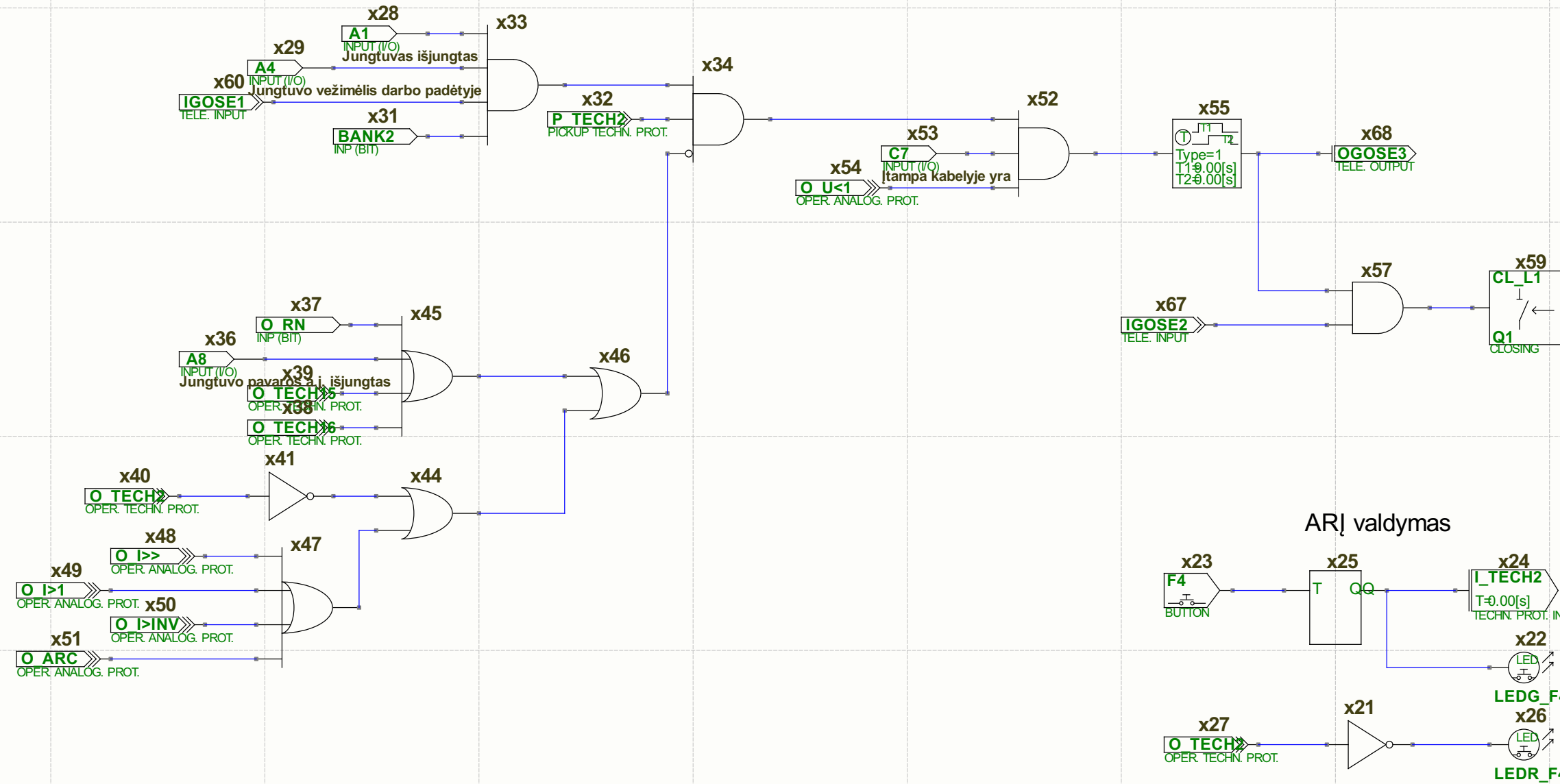


Ekrano užrašai

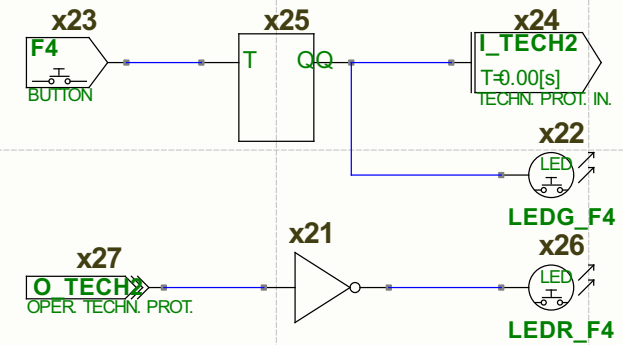


Bay name: L-300 GOOSE	Sheet name: Bendra logika	Sheet 1 of 2
Sheet description: 4 priedas	Version: 1.0	
Author: Simonas Ramanauskas	Compilation date:	

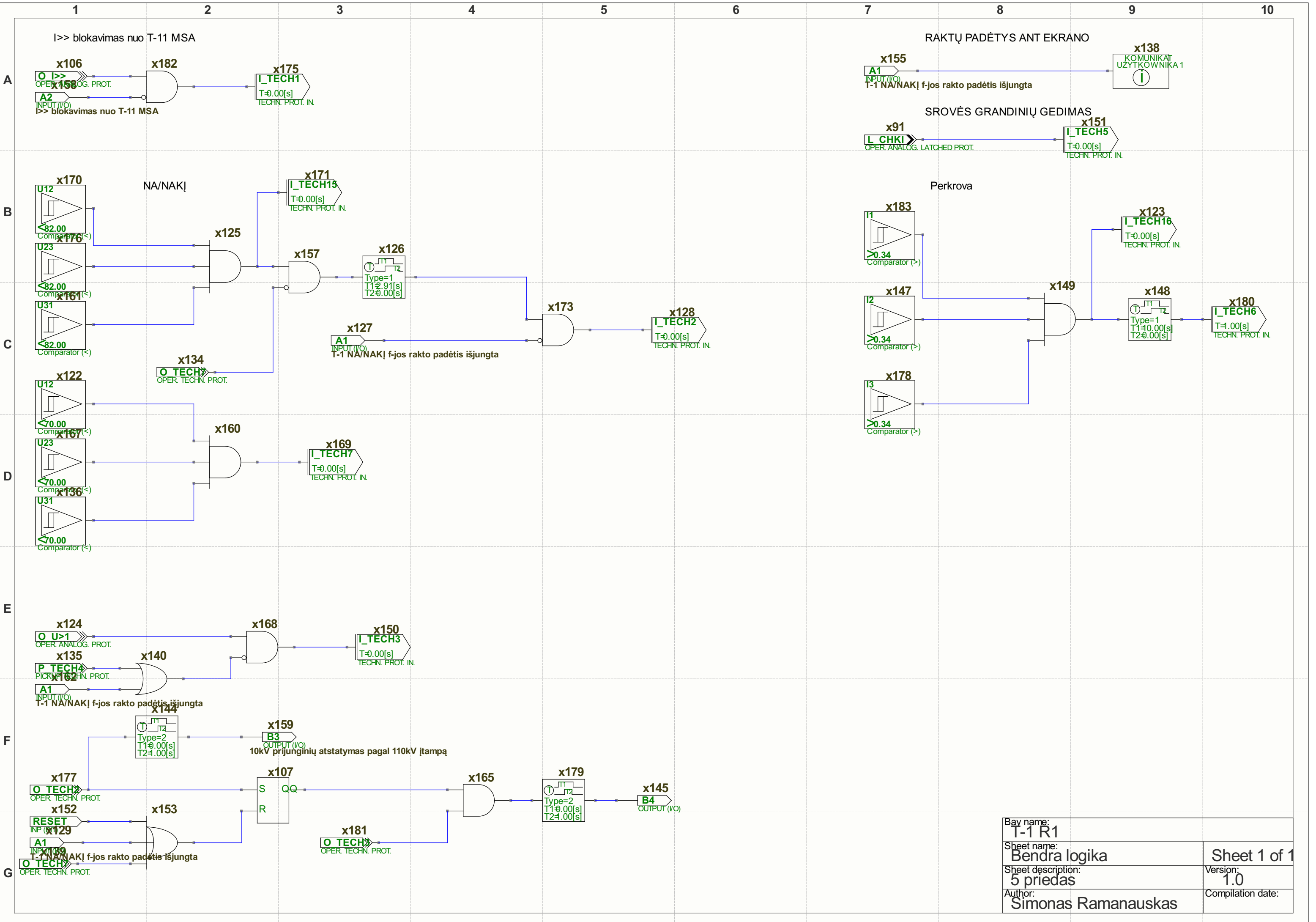
ARĮ logika (GOOSE)



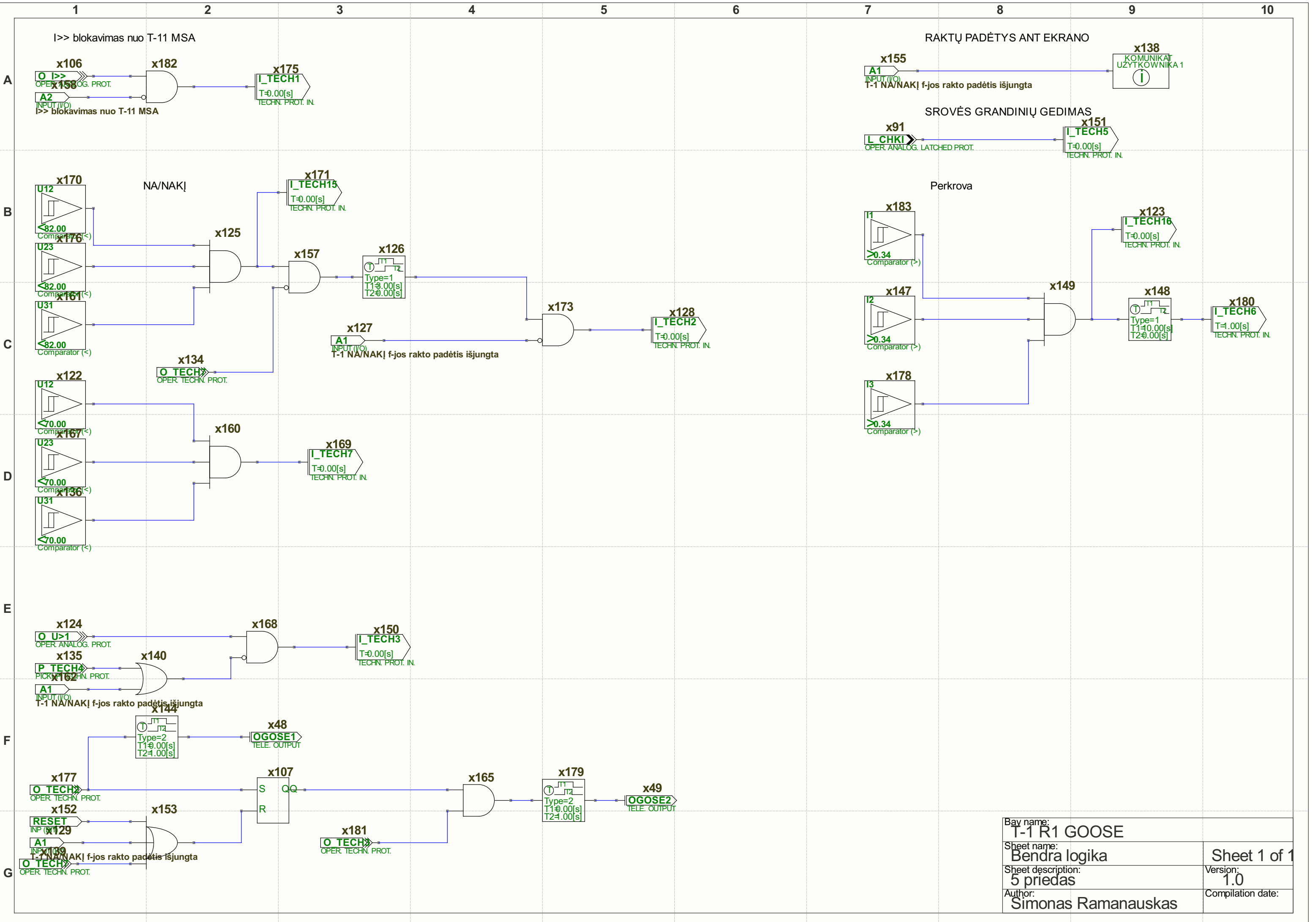
ARĮ valdymas



Bay name:	L-300 GOOSE	
Sheet name:	ARĮ logika	Sheet 2 of 2
Sheet description:	4 priedas	Version: 1.0
Author:	Simonas Ramanauskas	Compilation date:



Bay name:	T-1 R1	Sheet 1 of 1
Sheet name:	Bendra logika	Version:
Sheet description:	5 priedas	1.0
Author:	Simonas Ramanauskas	Compilation date:



Bay name: T-1 R1 GOOSE		Sheet 1 of 1
Sheet name: Bendra logika		
Sheet description: 5 priedas		Version: 1.0
Author: Simonas Ramanauskas		Compilation date:

6 priedas

Test Object - Device Settings

Nominal Values:

f nom:	50.00 Hz	Number of phases:	3
V nom (secondary):	100.0 V	V primary:	10.00 kV
I nom (secondary):	1.000 A	I primary:	1.000 kA

Residual Voltage/Current Factors:

Overcurrent:

Test Object - Overcurrent Parameters

Shot Test:

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	t _{nom}	t _{min}	t _{max}
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	0.000 s	40.00 ms

Binary Inputs:

Trigger Logic: And

Name	Trigger State
kontakto laikas	1

Shot Test Results:

Type	Relative To	Factor	Magnitude	Angle	t _{nom}	t _{act}	Deviation	Overload	Result
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	32.00 ms	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	31.00 ms	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	25.40 ms	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	30.00 ms	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	28.90 ms	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	28.20 ms	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	26.70 ms	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	27.10 ms	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	24.10 ms	n/a	No	Passed
L1-L2-L3	#1 Phase	2.000	2.000 A	n/a	0.000 s	31.30 ms	n/a	No	Passed

State:

10 out of 10 points tested.
10 points passed.
0 points failed.

General Assessment: Test passed!

ARĮ laikas (varinis):

Test Settings

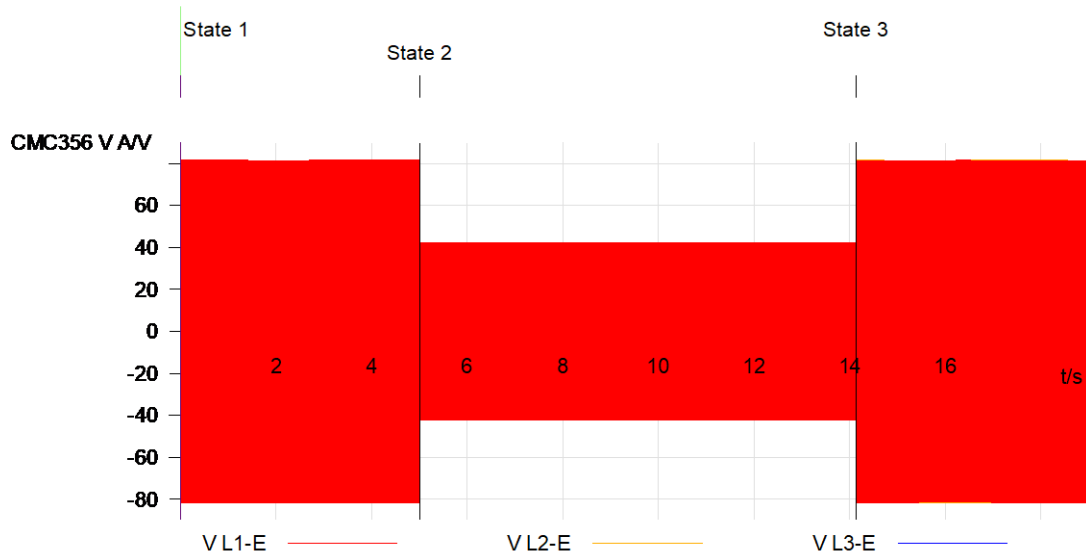
State	State 1	State 2	State 3
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	30.00 V 0.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	30.00 V -120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	30.00 V 120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz
I L2	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz
Max. State Time	5.000 s		5.000 s
Trigger Logic		OR	
Trip		1	

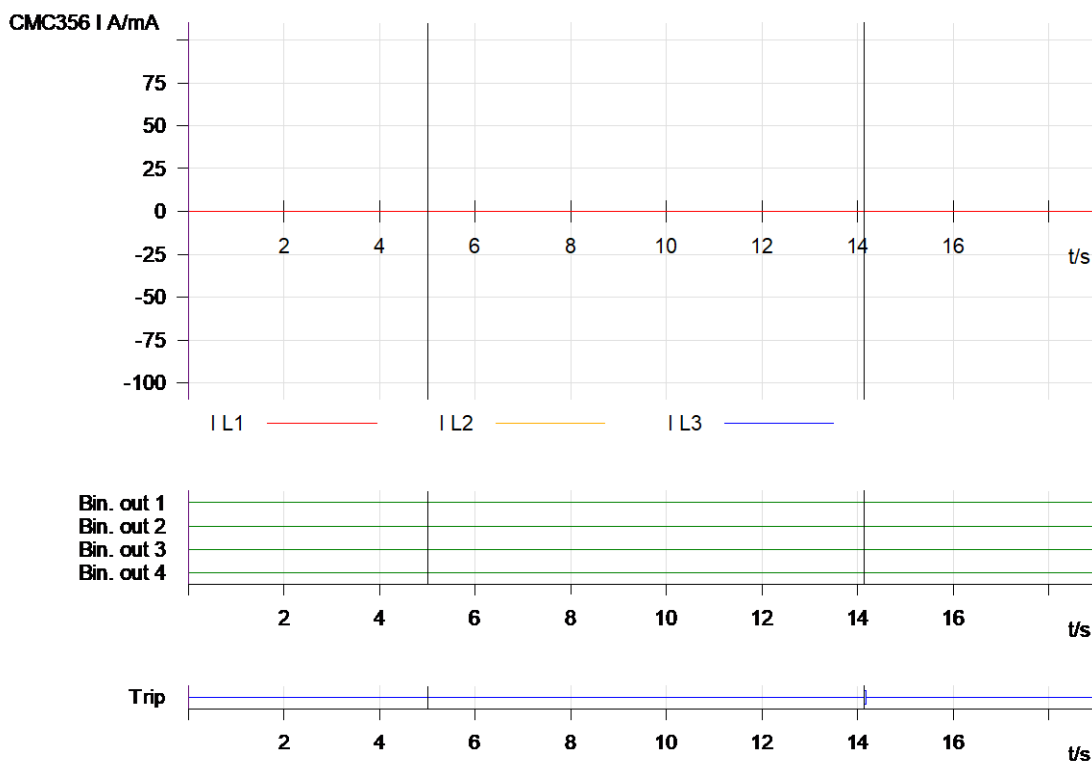
Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
ARĮ laikas		State 2	Trip 0>1	9.000 s			9.136 s	135.8 ms	o

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed





JRĮ laikas (varinis):

Test Settings

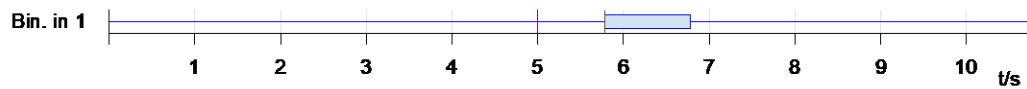
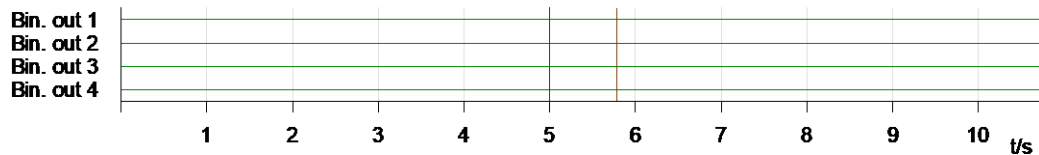
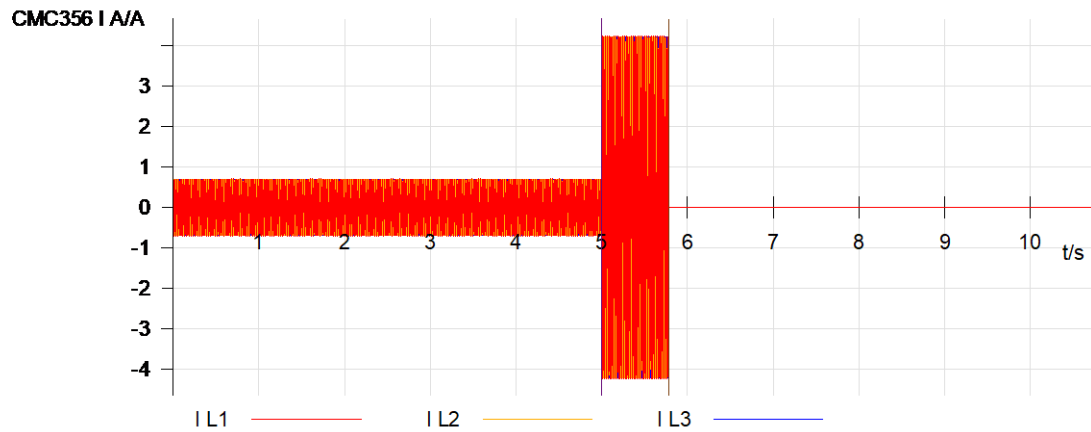
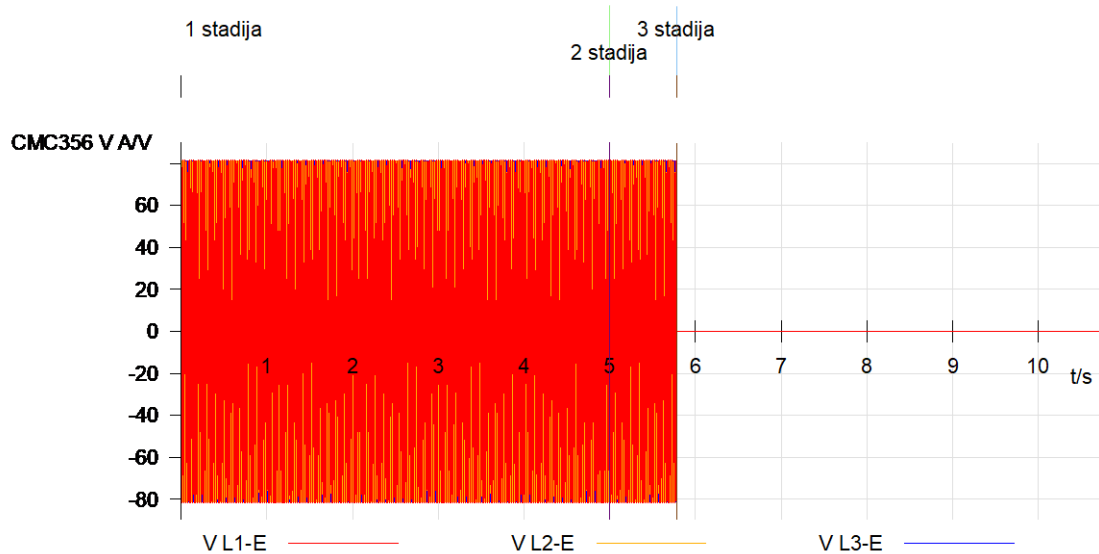
State	1 stadija	2 stadija	3 stadija
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	500.0 mA 0.00 ° 50.000 Hz	3.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz
I L2	500.0 mA -120.00 ° 50.000 Hz	3.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	500.0 mA 120.00 ° 50.000 Hz	3.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz
Max. State Time	5.000 s		5.000 s
Trigger Logic		OR	
Bin. in 1		1	

Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
JR laikas		2 stadija	Bin. in 1 0>1	700.0 ms	100.0 ms	100.0 ms	776.0 ms	76.00 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed



LŠA blokavimo laikas:

Test Settings

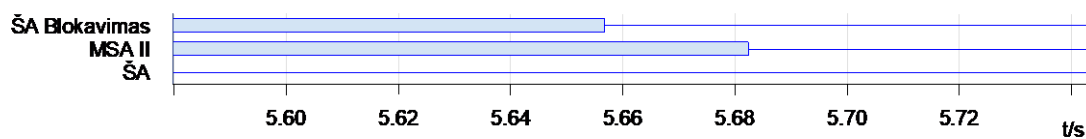
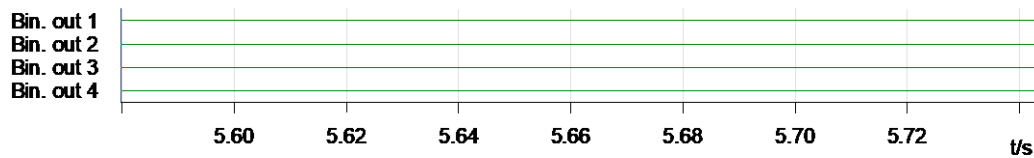
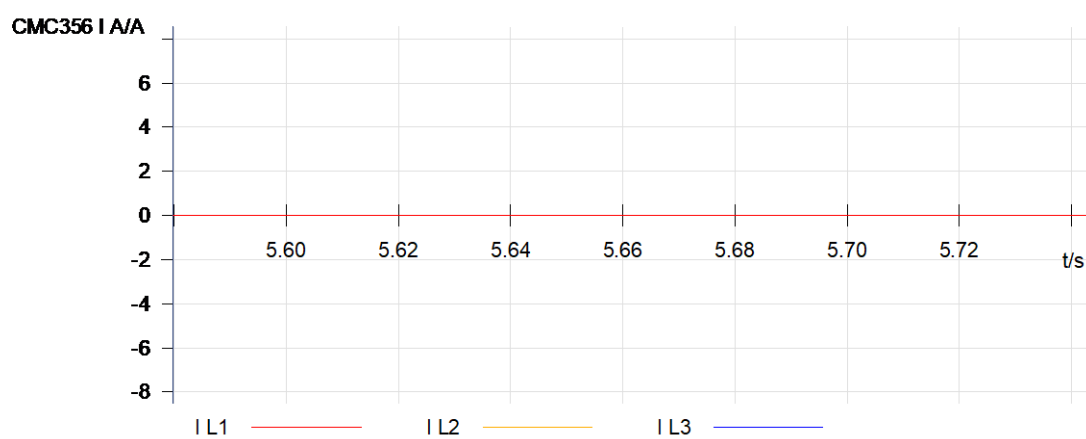
State	1 stadija	2 stadija	3 stadija
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	500.0 mA 0.00 ° 50.000 Hz	5.500 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz
I L2	500.0 mA -120.00 ° 50.000 Hz	5.500 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	500.0 mA 120.00 ° 50.000 Hz	5.500 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz
Max. State Time	5.000 s		5.000 s
Trigger Logic		OR	
MSA II		1	

Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
Blokavimo laikas		2 stadija	ŠA Blokavimas 0>1	40.00 ms	40.00 ms	40.00 ms	66.00 ms	26.00 ms	+
MSA II laikas		2 stadija	MSA II 0>1	500.0 ms	50.00 ms	50.00 ms	547.6 ms	47.60 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed



LŠA trip (varinis):

Test Settings

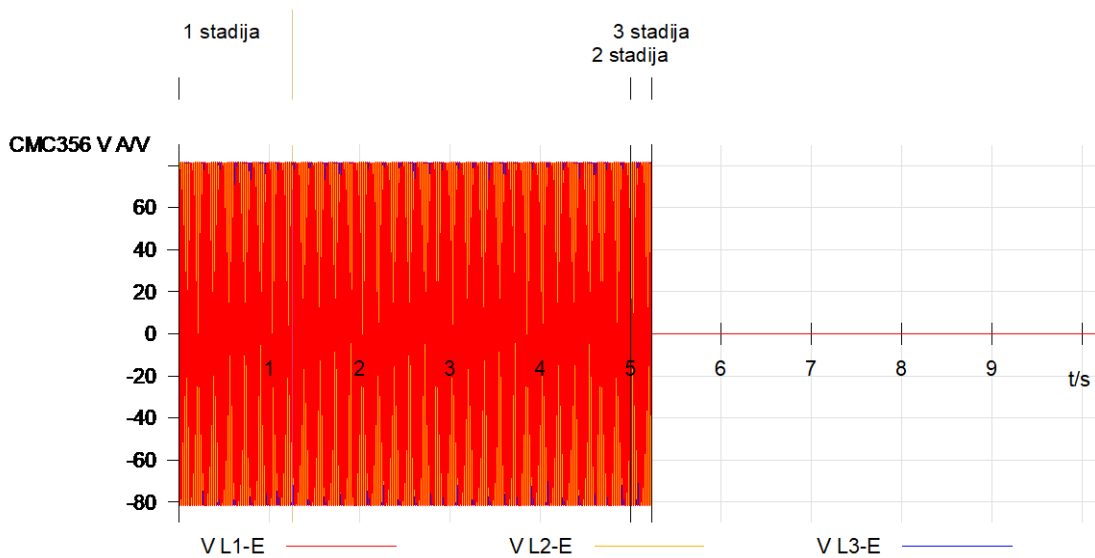
State	1 stadija	2 stadija	3 stadija
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	500.0 mA 0.00 ° 50.000 Hz	5.500 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz
I L2	500.0 mA -120.00 ° 50.000 Hz	5.500 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	500.0 mA 120.00 ° 50.000 Hz	5.500 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz
Max. State Time	5.000 s		5.000 s
Trigger Logic		OR	
MSA II		1	
ŠA		1	

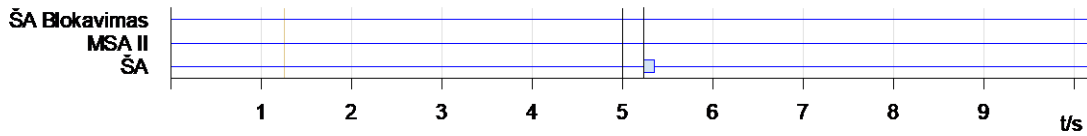
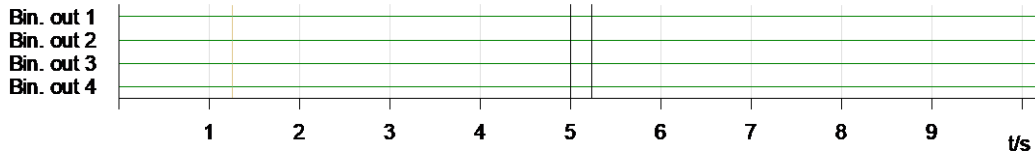
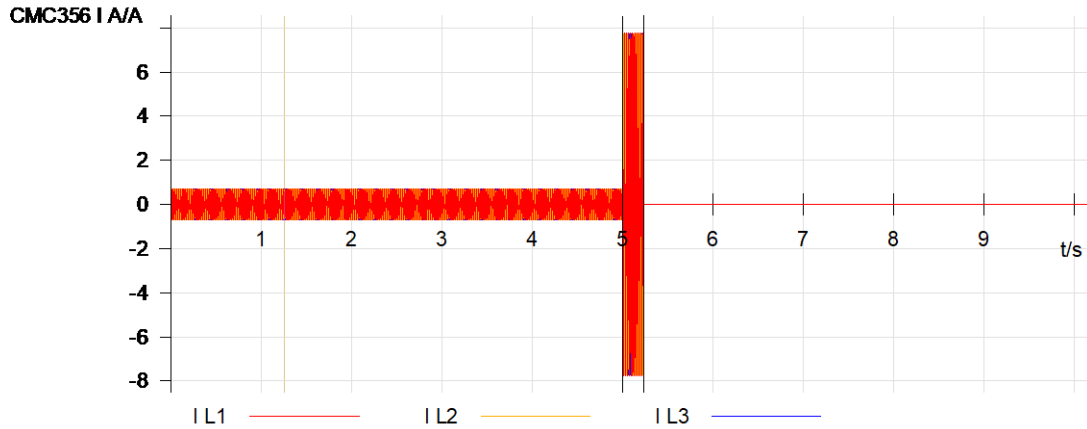
Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
ŠA laikas		2 stadija	ŠA 0>1	200.0 ms	50.00 ms	50.00 ms	237.2 ms	37.20 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed





NA NAKĲ (Varinis):

Test Settings

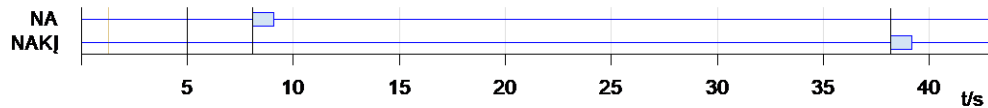
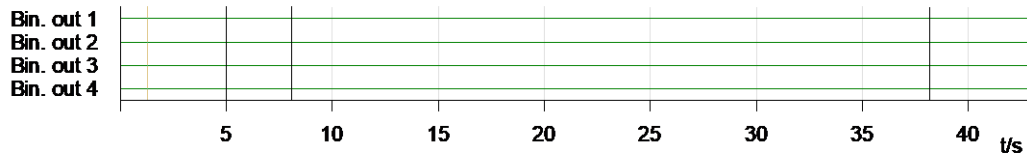
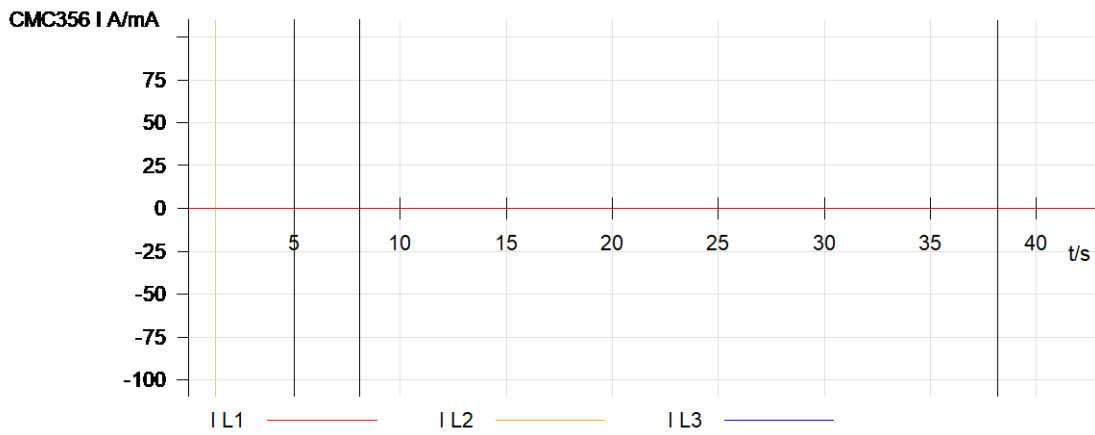
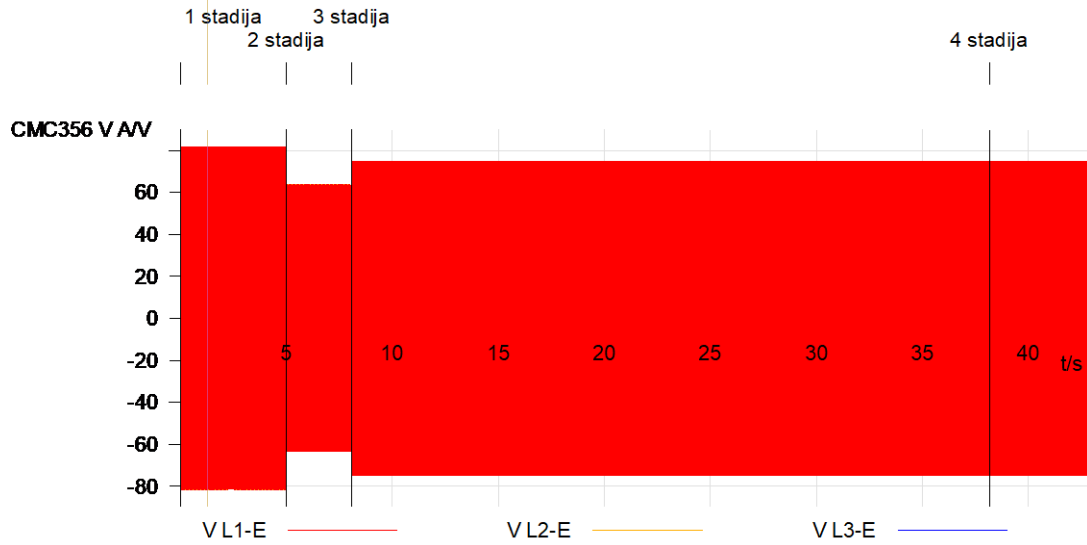
State	1 stadija	2 stadija	3 stadija	4 stadija
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	45.00 V 0.00 ° 50.000 Hz	53.00 V 0.00 ° 50.000 Hz	53.00 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	45.00 V -120.00 ° 50.000 Hz	53.00 V -120.00 ° 50.000 Hz	53.00 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	45.00 V 120.00 ° 50.000 Hz	53.00 V 120.00 ° 50.000 Hz	53.00 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz
I L2	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz
Max. State Time	5.000 s			5.000 s
Trigger Logic		OR	OR	
NA		1	X	
NAKĲ		X	1	

Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
NA laikas		2 stadija	NA 0>1	3.000 s	50.00 ms	200.0 ms	3.078 s	77.70 ms	+
NAKļ laikas		3 stadija	NAKļ 0>1	30.00 s	50.00 ms	200.0 ms	30.07 s	70.20 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed



T-1 apsaugų poveikis (varinis):

Test Settings

State	1 stadija	2 stadija	3 stadija
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	500.0 mA 0.00 ° 50.000 Hz	3.300 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz
I L2	500.0 mA -120.00 ° 50.000 Hz	3.300 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	500.0 mA 120.00 ° 50.000 Hz	3.300 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz

Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
JRĮ laikas		2 stadija	T-1 0>1	2.500 s	100.0 ms	100.0 ms	2.573 s	72.60 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

ARĮ laikas (GOOSE):

Test Settings

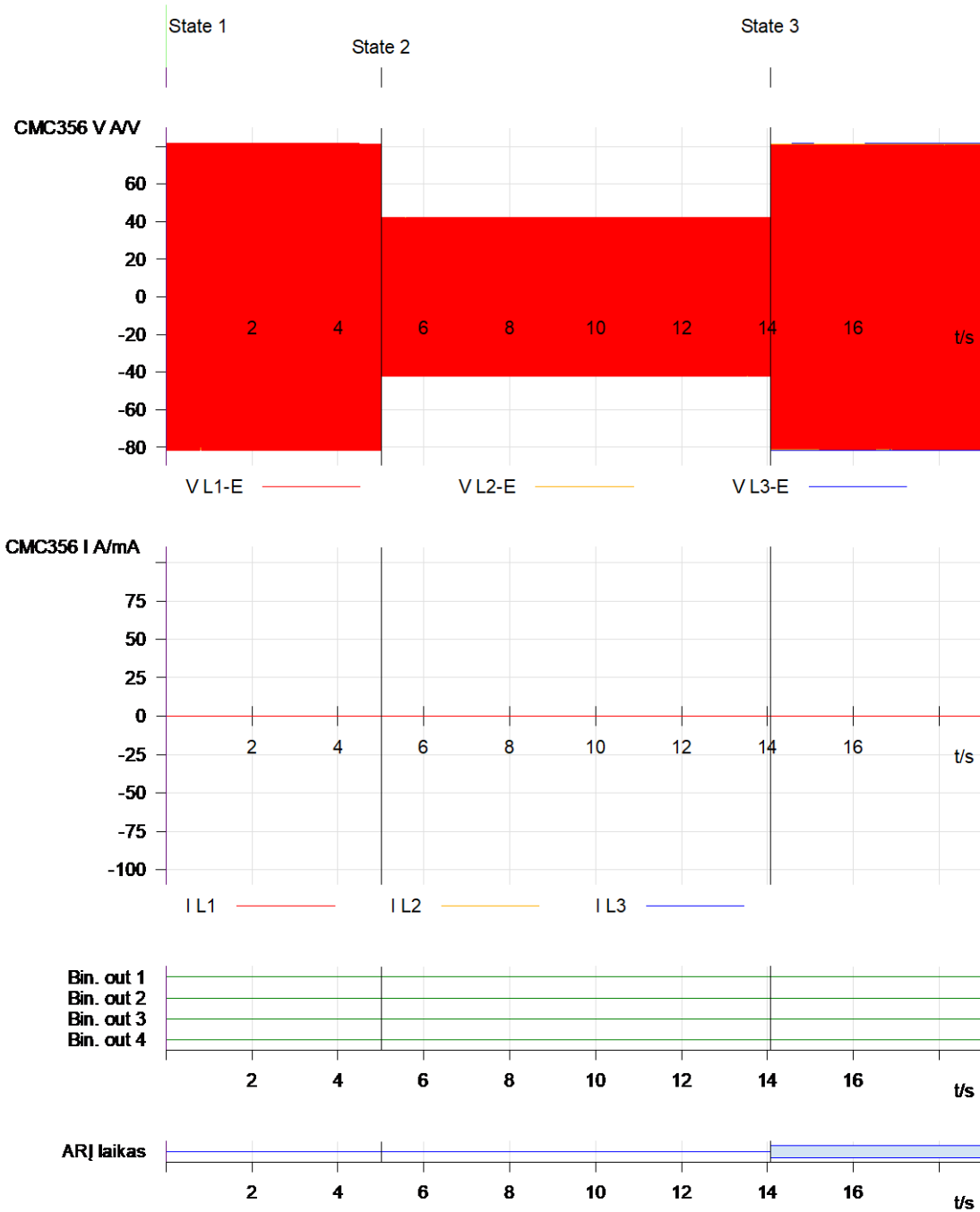
State	State 1	State 2	State 3
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	30.00 V 0.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	30.00 V -120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	30.00 V 120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz
I L2	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz
Max. State Time	5.000 s		5.000 s
Trigger Logic		OR	
ARĮ laikas		1	

Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
ARĶ laikas		State 2	ARĶ laikas 0>1	9.000 s			9.073 s	73.40 ms	o

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed



JRĮ laikas (GOOSE):

Test Settings

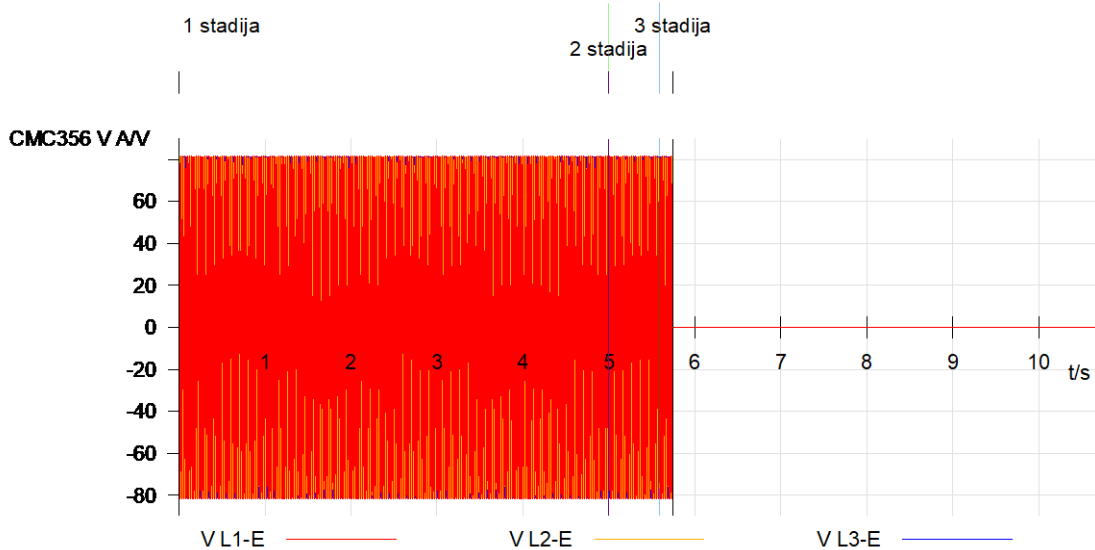
State	1 stadija	2 stadija	3 stadija
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	500.0 mA 0.00 ° 50.000 Hz	3.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz
I L2	500.0 mA -120.00 ° 50.000 Hz	3.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	500.0 mA 120.00 ° 50.000 Hz	3.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz
Max. State Time	5.000 s		5.000 s
Trigger Logic		OR	
JRĮ laikas		1	

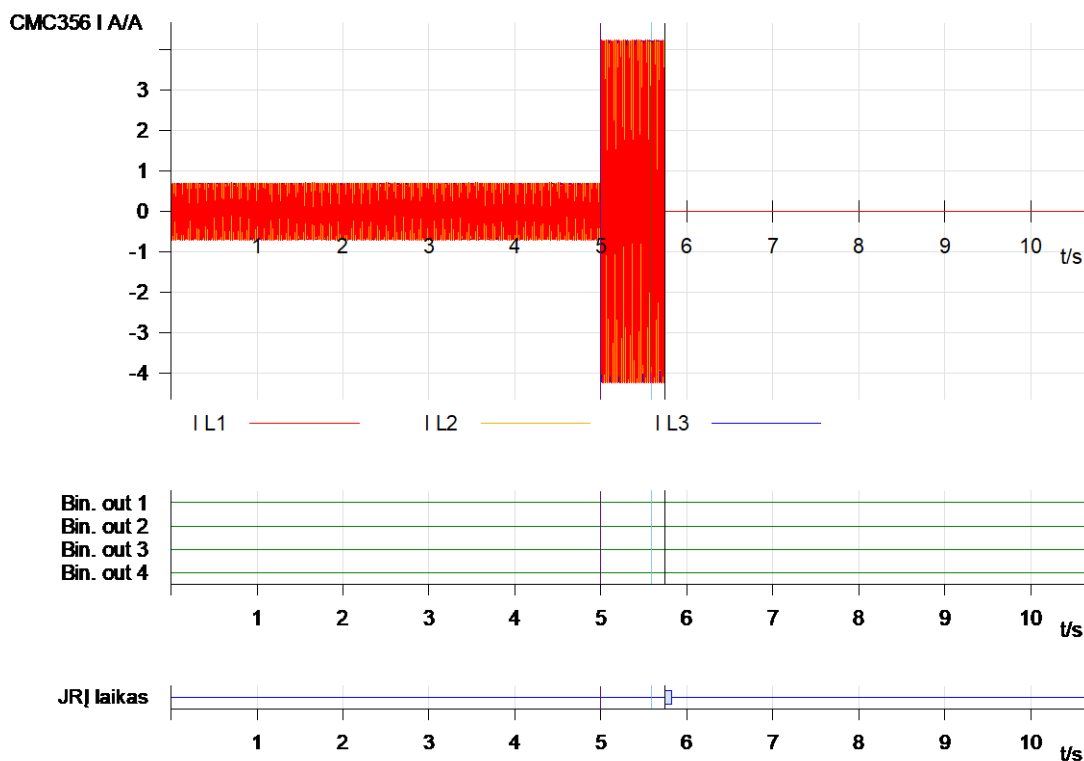
Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
JRĮ laikas		2 stadija	JRĮ laikas 0>1	700.0 ms	100.0 ms	100.0 ms	749.0 ms	49.00 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed





LŠA blokavimo laikas:

Test Settings

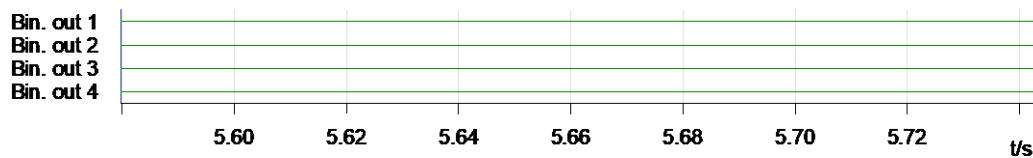
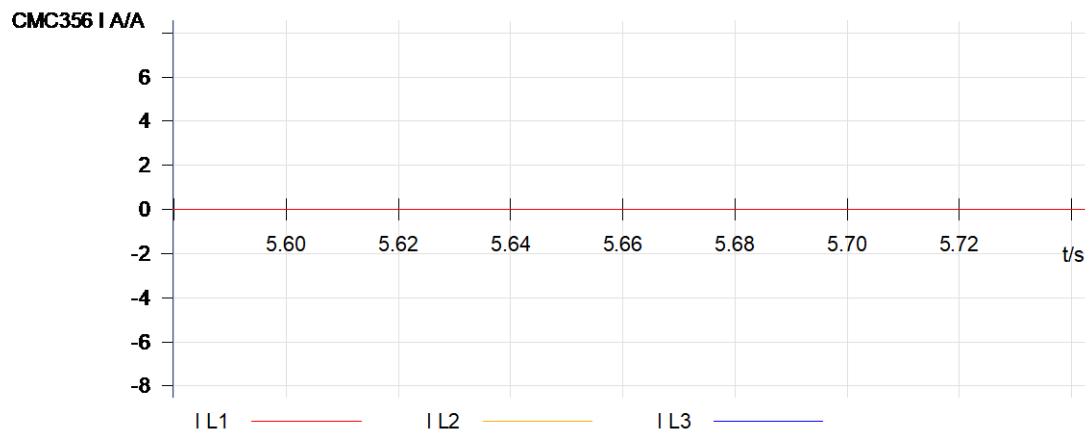
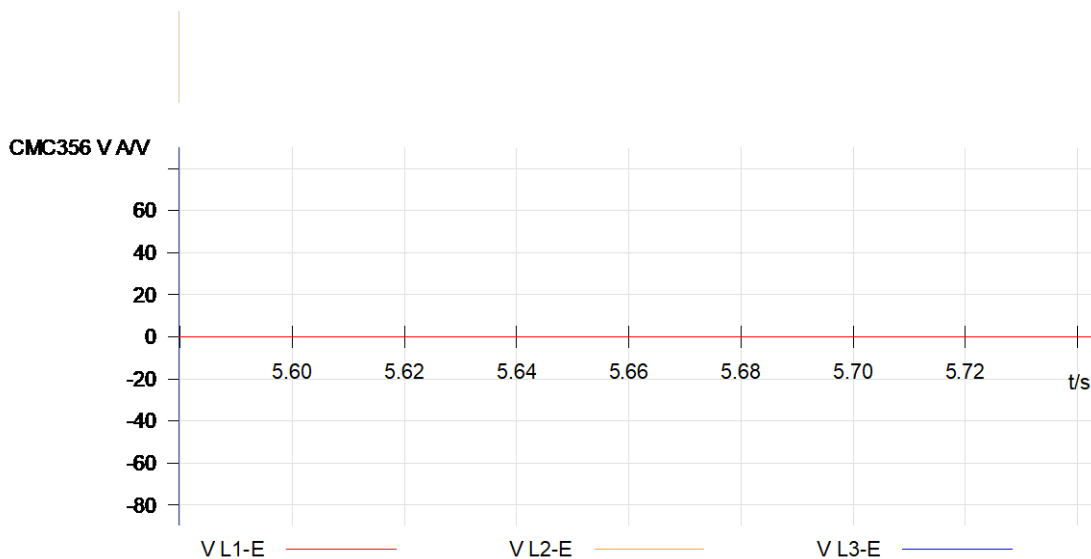
State	1 stadija	2 stadija	3 stadija
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	500.0 mA 0.00 ° 50.000 Hz	5.500 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz
I L2	500.0 mA -120.00 ° 50.000 Hz	5.500 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	500.0 mA 120.00 ° 50.000 Hz	5.500 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz
Max. State Time	5.000 s		5.000 s
Trigger Logic		OR	
MSA II		1	

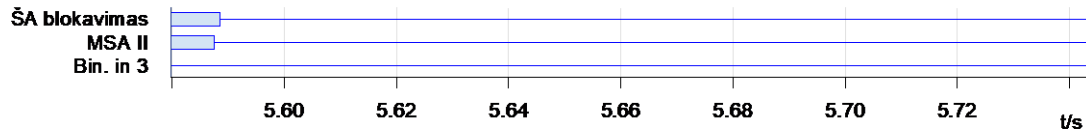
Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
Blokavimo laikas		2 stadija	ŠA blokavimas 0>1	40.00 ms	40.00 ms	40.00 ms	33.30 ms	6.700 ms	+
MSA II laikas		2 stadija	MSA II 0>1	500.0 ms	50.00 ms	50.00 ms	533.3 ms	33.30 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed





NA NAKĮ (GOOSE):

Test Settings

State	1 stadija	2 stadija	3 stadija	4 stadija
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	45.00 V 0.00 ° 50.000 Hz	53.00 V 0.00 ° 50.000 Hz	53.00 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	45.00 V -120.00 ° 50.000 Hz	53.00 V -120.00 ° 50.000 Hz	53.00 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	45.00 V 120.00 ° 50.000 Hz	53.00 V 120.00 ° 50.000 Hz	53.00 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 0.00 ° 50.000 Hz
I L2	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz
Max. State Time	5.000 s			5.000 s
Trigger Logic		OR	OR	
NA		1	X	
NAKĮ		X	1	

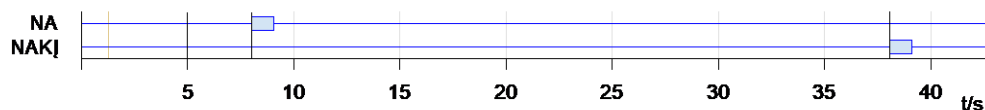
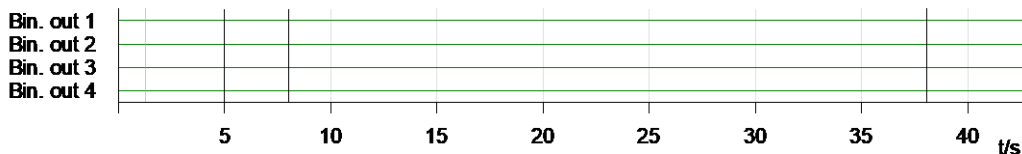
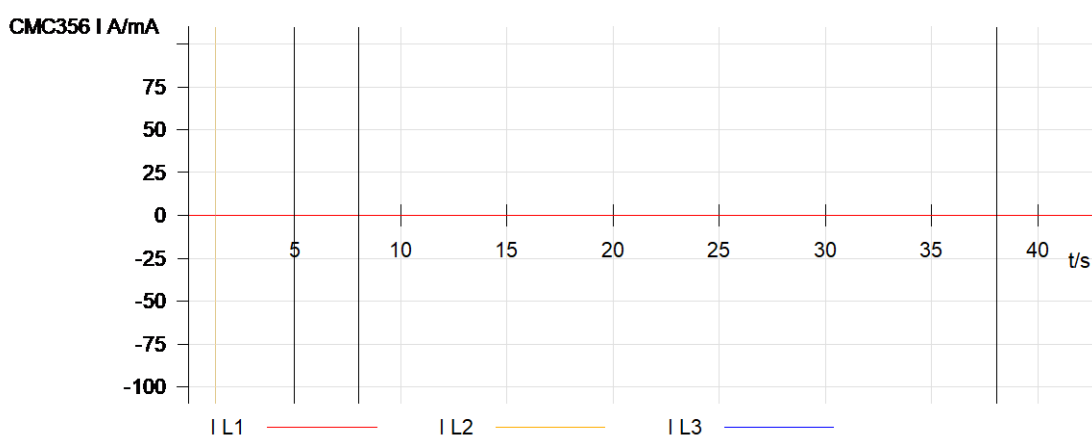
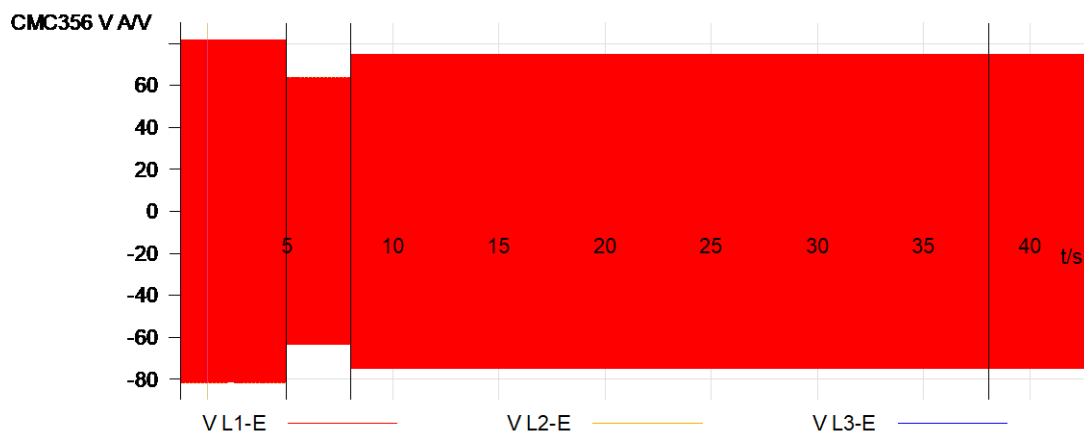
Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
NA laikas		2 stadija	NA 0>1	3.000 s	50.00 ms	200.0 ms	3.044 s	44.40 ms	+
NAKĮ laikas		3 stadija	NAKĮ 0>1	30.00 s	50.00 ms	200.0 ms	30.04 s	40.10 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed





T-1 apsaugų poveikis (GOOSE):

Test Settings

State	1 stadija	2 stadija	3 stadija
V L1-E	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 0.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 0.00 ° 50.000 Hz
V L2-E	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V -120.00 ° 50.000 Hz
V L3-E	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	57.74 V 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 V 120.00 ° 50.000 Hz
I L1	500.0 mA	3.300 A	0.000 A

	0.00 ° 50.000 Hz	0.00 ° 50.000 Hz	0.00 ° 50.000 Hz
I L2	500.0 mA -120.00 ° 50.000 Hz	3.300 A -120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A -120.00 ° 50.000 Hz
I L3	500.0 mA 120.00 ° 50.000 Hz	3.300 A 120.00 ° 50.000 Hz	0.000 A 120.00 ° 50.000 Hz
Max. State Time	5.000 s		5.000 s
Trigger Logic		OR	
T-1		1	

Test Results

Time Assessment

Name	Ignore before	Start	Stop	Tnom	Tdev-	Tdev+	Tact	Tdev	Assess
JR laikas		2 stadija	T-1 0>1	2.500 s	100.0 ms	100.0 ms	2.542 s	42.10 ms	+

Assess: + .. Passed x .. Failed o .. Not assessed

