



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

**Elvina Kuraitė**

**SKAITMENINIŲ RELINIŲ APSAUGŲ SELEKTYVUMO  
CHARAKTERISTIKŲ DERINIMAS SU KITAIŠ APSAUGOS  
APARATAIS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**  
Doc. dr. Gytis Svinkūnas

**KAUNAS, 2018**

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

**SKAITMENINIŲ RELINIŲ APSAUGŲ SELEKTYVUMO**  
**CHARAKTERISTIKŲ DERINIMAS SU KITAIŠ APSAUGOS**  
**APARATAIS**

Baigiamasis magistro projektas  
Elektros energetikos sistemos (kodas 621H63005)

**Vadovas**

Doc. dr. Gytis Svinkūnas

**Recenzentas**

Doc. dr. Almantas Bandza

**Projektą atliko**

Elvina Kuraitė

**KAUNAS, 2018**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Elvina Kuraitė

(Studento vardas, pavardė)

Elektros energetikos sistemos, 621H63005

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Skaitmeninių relinių apsaugų selektyvumo charakteristikų derinimas su kitais apsaugos aparatais“

### AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20 18 m. gegužės 22 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Elvinos Kuraitės** baigiamasis projektas tema „Skaitmeninių relinių apsaugų selektyvumo charakteristikų derinimas su kitais apsaugos aparatais“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

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

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Kuraitė, Elvina. Skaitmeninių relinių apsaugų selektyvumo charakteristikų derinimas su kitais apsaugos aparatais. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Gytis Svinkūnas; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, elektros energetikos sistemų katedra.

Mokslo kryptis ir sritis: Elektros ir elektronikos inžinerija, Technologiniai mokslai  
Reikšminiai žodžiai: *selektyvumas, relinė apsauga, saugiklis, automatinis jungiklis*  
Kaunas, 2018. 53 p.

## **SANTRAUKA**

*Darbe apžvelgtos saugiklių, automatinių jungiklių, skaitmeninių relinių apsaugų charakteristikos. Trumpai pristatyti populiarius apsaugos aparatų gamintojai. Tyrimui pasirinkti apsaugos aparatai, kurie derinami su skaitmeninių relinių apsaugų normaliai inversinėmis, labai inversinėmis, ypatingai inversinėmis ir ilgo laiko inversinėmis laiko ir srovės charakteristikomis. Atlikus tyrimą nustatyta, kurių apsaugos aparatų charakteristikos labiausiai panašios į skaitmeninių relinių apsaugų charakteristikas. Taip pat, nustatyta laiko daugiklio „k“ įtaka apsaugų charakteristikų panašumui. Pateikiamos rekomendacijos apsaugų charakteristikų derinimui.*

Kuraitė, Elvina. Coordination of Selectivity Characteristics for Protection of Digital Relays with other Protection Device: *Master's* thesis in supervisor assoc. prof. Gytis Svinkūnas. Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of electrical energy systems

Research area and field: Electrical and Electronics Engineering, Technological Sciences

Key words: selectivity, relay protection, fuse, circuit breaker

Kaunas, 2018. 53 p.

## **SUMMARY**

The paper reviews the characteristics of fuses, circuit breaker, digital relay protection. Short introduction of popular security hardware manufacturers been done. Security devices are chosen and combined with normal inverse, very inverse, extremal inverse and long-time inverse time and current characteristics with digital relay protection. The reasearch determined which of the security devices are most similar to the characteristics of digital relay protection. Also, the influence of the time multiplier "k" on the similarity of the security features is determined. Recommendations for the coordination of guard characteristics are given.

## TURINYS

ĮVADAS .....	7
1. ĮRENGINIŲ TECHNOLOGINIS DERINIMAS.....	8
1.1. Bendros žinios apie relinę apsaugą .....	8
1.2. Relinės apsaugos įrenginiams keliami reikalavimai .....	9
1.3. Norminių teisės aktų reikalavimų atitikimas .....	11
2. APSAUGOS APARATŲ APŽVALGA .....	14
2.1. Populiarūs apsaugos aparatų gamintojai šiandieninėje rinkoje.....	14
2.2. Automatinių jungiklių bendra apžvalga.....	14
2.3. Saugiklių bendra apžvalga .....	16
2.4. ABB apsaugos aparatai .....	19
2.4.1. Saugikliai.....	19
2.4.2. Automatiniai jungikliai .....	20
2.5. Schneider electric apsaugos aparatai.....	20
2.5.1. Saugikliai.....	20
2.5.2. Automatiniai jungikliai .....	21
2.6. Siemens apsaugos aparatai.....	22
2.6.1. Saugikliai... ..	22
3. SKAITMENINIŲ RELINIŲ APSAUGŲ PARINKIMAS .....	24
3.1. Distancinė apsauga.....	25
3.2. Diferencinės apsaugos.....	25
3.3. Maksimalios srovės apsauga .....	25
4. SKAIČIAVIMAI IR REKOMENDACIJOS .....	30
4.1. Saugiklių derinimas su skaitmeninėmis relėmis .....	32
4.2. Automatinių jungiklių derinimas su skaitmeninėmis relėmis.....	43
5. IŠVADOS.....	51
6.LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	52

## ĮVADAS

Elektros energetikos sistemoje, dėl aplinkos veiksnių, gali atsirasti įvairių gedimų. Dažniausiai pasitaikantys gedimai yra trumpieji jungimai. Gedimus būtina greitai šalinti, atjungiant pažeistą tinklo dalį nuo elektros tinklo. Tai gali padaryti specialūs automatiniai įrenginiai – relinės apsaugos. Tai distancinė apsauga, maksimalios srovės apsauga, diferencialinė apsauga ir kt.

Skirtingų apsaugų laiko ir srovės charakteristikos derinamos su maksimalios srovės apsaugos (MSA) charakteristikomis. Tam, kad tinkamai suveiktų apsaugos jos turi būti suderintos su kitais apsaugos aparatais. Įvairūs inversinių charakteristikų tipai leidžia suderinti MSA su saugikliais ar automatiniais jungikliais.

**Tyrimo objektas** – automatinių jungiklių, saugiklių ir skaitmeninių relinių apsaugų laiko ir srovės charakteristikos.

**Tikslas** – ištirti ir pateikti rekomendacijas, kurie skaitmeninių relinių apsaugų tipai geriausiai suderinami su automatiniais jungikliais bei saugikliais.

**Darbo aktualumas** – tobulinant ir skaitmenizuojant energetikos ūkį, elektros tinklas turi būti patikimas ir saugus. Žinant tinkamas gaires, apsaugų selektyvumas gali būti suderinamas greičiau ir patikimiau.

### **Uždaviniai:**

1. Apžvelgti ir susisteminti relinės apsaugos bei kitų apsaugos aparatų ypatumus.
2. Ištirti saugiklių ir skaitmeninių relinių apsaugų, normalios inversinės, labai inversinės, ypatingai inversinės bei ilgo laiko inversinės, laiko ir srovės charakteristikų panašumus.
3. Ištirti automatinių jungiklių ir skaitmeninių relinių apsaugų, normalios inversinės, labai inversinės, ypatingai inversinės bei ilgo laiko inversinės, laiko ir srovės charakteristikų panašumus.
4. Ištirti laiko daugiklio „k“ įtaką apsaugų laiko ir srovės charakteristikų panašumui.
5. Susisteminti tyrimo rezultatus ir pateikti apsaugų panašumų rekomendacijas.

# 1. ĮRENGINIŲ TECHNOLOGINIS DERINIMAS

## 1.1. Bendros žinios apie relinę apsaugą

Relinė apsauga teisės aktuose apibrėžiama kaip įtaisas ar jų visuma, sudaryta iš įvairios konstrukcijos relių, mikroprocesorių, integralinių mikroprocesorių, kuri nuolatos kontroliuoja pagrindinius elektros grandinės režimo dydžius ir trumpųjų jungimų bei nenormalių režimų metu paduoda išjungimo komandą į atitinkamą aparatą arba įjungia signalizaciją [1].

Vis dažniau elektromechanines reles relinėje apsaugoje keičia skaitmeninės relės ir mikroprocesoriai. Skaitmeninės relės lyginant su elektromechaninėmis relėmis užima mažiau vietos, yra patikimesnės ir skaitmeninėse apsaugose galima naudoti kelis relės statų rinkinius. Taip pat, skaitmeninių relių didesnis jautrumas ir stabilumas, paprastesnis statų keitimas, sąlyginai paprastesnė eksploatacija.

Skaitmeninės relės ir mikroprocesoriai įrengiami naujai statomose pastotėse ir rekonstruojamose senose. Tokios sistemos ne tik matuoja įvairius parametrus, bet juos ir kaupia bei perduoda dispečiariniam centrui. Skaitmeninėse relėse išsaugotos avarinio proceso srovės ir įtampos, leidžia lengviau pašalinti avariją ir tuo pačiu analizuojant informaciją mažinti avarijų tikimybę. Taip pat tokias reles galima suderinti nuotoliniu būdu, pasitelkiant specialias duomenų perdavimo magistrasles.

Apsaugos reaguoja į:

- Srovės padidėjimą;
- Srovės padidėjimą ir krypties kitimą;
- Varžos kitimą;
- Srovių skirtumo tarp dviejų taškų sumažėjimą;
- Įtampos padidėjimą arba sumažėjimą [2].

Pagal veikimo principą relinių apsaugų tipai skirstomi į srovinę apsaugą, distancinę apsaugą ir diferencinę apsaugą. Srovinė apsauga suveikia, kai srovė elektros įrenginiuose prašoka iš anksto nustatytus dydžius. Distancinė apsauga reaguoja į gedimus su tam tikru laiko uždelsimu, kuris didėja gedimo vietai tolstant nuo elektros įrenginio. Diferencinė apsauga veikia, kai dviejų ar daugiau dydžių skirtumas didesnis už nustatytą.

Relinės apsaugos skirtos saugoti šynas, transformatorius, generatorius ir kitus elektros sistemos elementus.



## 1.2. Relinės apsaugos įrenginiams keliami reikalavimai

Relinės apsaugos įtaisai turi saugoti elektros energetikos sistemos objektus, reaguodami į įvairių rūšių trumpuosius jungimus. Relinės apsaugos elementai privalo veikti esant pažeidimams saugomame objekte ir nereaguoti esant pažeidimams už saugomos zonos ribų, bei nesant avarijų saugomojoje zonoje.

Relinė apsauga turi veikti selektyviai, atjungti tik tą elektros sistemos elementą, kuris yra sugedęs; turi būti pakankamai jautraus veikimo, reaguoti į avarinius elektros sistemos režimus, bet nereaguoti į normalius; turi pasižymėti greitaveika ir patikimumu, t.y. būtinai suveikti ir kuo greičiau atjungti sugedusį elementą.

Relinė apsauga turi atitikti šiuos reikalavimus:

- **Selektyvumas.** Tai įrenginių atrankumas, t.y. sugebėjimas atjungti ar įjungti tuos jungtuvus, kurių atjungimas ar įjungimas duotoje situacijoje yra būtinas. Gedimų ir nenormalių režimų metu kontroliuojami dydžiai pakinta daugelyje sistemos elementų. Todėl RAA įrenginiai turi sugebėti atrinkti sužalotą elementą, jį atjungti ir imtis priemonių atjungimo pasekmėms likviduoti. Pažymėtina, kad kai kurie RAA įrenginiai yra selektyvūs, kitiems selektyviam darbui užtikrinti reikia tinkamai parinkti matuojamosios ir loginės dalies relių suveikimo parametrus. Kai RAA įrenginiai veikia selektyviai dėl gedimų ir nenormalių režimų elektros tiekimas nutraukiamas mažiausiam vartotojų skaičiui [1].
- **Jautrumas.** Tai RAA sugebėjimas veikti gedimų ir nenormalių režimų metu esant įvairioms šių režimų parametrų reikšmėms. Jautrumo reikalavimas taikomas RAA matuojančiai daliai ir tiesiogiai susijęs su suveikimo parametrų parinkimu. Dažniausiai jautrumas įvertinamas atitinkamu koeficientu ( $k_j$ ), kuris turi būti didesnis už 1,5 [1].
- **Greitaveika.** Charakterizuojamas suveikimo laiku. Kuo greičiau veikia RAA įrenginiai tuo mažesnės būna gedimų ir nenormalių režimų pasekmės. Šiuolaikinių RAA suveikimo laikas gali siekti 0,02-0,04s. Be to reikia įvertinti jungtuvų atjungimo ir įjungimo laiką, kuris negali būti mažesnis 0,04-0,06 s. Tačiau reikia pastebėti, kad greito veikimo reikalavimas turi būti taikomas diferencijuotai. Pažymėtina, kad dažnai greito veikimo reikalavimas prieštarauja selektyvumo reikalavimui ir todėl tenka veikimo laikus padidinti. Todėl RAA įrenginiai gali turėti įvairų veikimo laiką nuo šimtųjų sekundės dalių iki kelių dešimčių sekundžių [1].

- **Patikimumas.** Tai RAA įrenginių savybė vykdyti numatytas funkcijas, išlaikant savo eksploatacinius rodiklius nustatytose ribose, reikalaujamame laikotarpyje. Patikimumas priklauso nuo RAA įvykdymo principų parinkimo, nuo projektavimo, panaudotų relių ir kitų elementų kokybės, nuo montažo kokybės, nuo eksploatacijos parametrų ir kitų faktorių [1].

Tam tikrais atvejais sistemose galima naudoti ir neselektyvias apsaugas, kai būtina pagreitinti trumpųjų jungimų išjungimą, retai pasitaikančiuose tinklo režimuose, skirtas tolimajam rezervavimui.

Relinės apsaugos įtaisų patikimumas gali būti užtikrintas:

- naudojant įtaisy, kurių veikimo principas, konstrukcija ir parinkti parametrai atitinka jų paskirtį;
- naudojant schemų pagrindinių elementų dubliavimą ir įtaisų nuolatinę kontrolę bei gedimų diagnostiką;
- nuolatos ar periodiškai kontroliuojant ryšio kanalų, jungiamųjų laidų ir kitų pagalbinių įtaisų būklę;
- tinkamai techniškai prižiūrint pagrindinius ir pagalbinius įtaisy;
- įdiegiant technines ir organizacines priemones, mažinančias priežiūros personalo, vykdančio operacijas su relinės apsaugos įtaisais, klaidingų veiksmų tikimybę [6].

Patikimumas skirstomas į tris grupes:

1. apsaugos patikimas poveikis esant avarijoms saugomo objekto viduje;
2. patikimas apsaugos neveikimas jei avarija yra už saugomos zonos ribų;
3. patikimas apsaugos neveikimas kai nėra jokių avarijų.

Galimi relinės apsaugos sutrikimo atvejai:

1. Relinės apsaugos veikimo sutrikimas, kai reikalingas patikimas RAA darbas.
2. Nereikalingas (neselektyvus) RAA poveikis, kai į esančią avariją sistemoje apsauga turi nereaguoti (esant avarijai už saugomos zonos ribų).
3. Klaidingas apsaugos veikimas kuomet sistema dirba normaliai be sutrikimų ir avarių

**1.2.1.** lentelėje pateikiami reikalavimai RAA, kuriuos įvykdžius gaunamas pakankamai geras apsaugos laipsnis.

1.2.1 lentelė. Reikalavimai RAA funkcionavimui

Bendrosios savybės		Apsaugos funkcijos			
		Poveikis prie vidinių gedimų		Neveikimas prie išorinių avarijų	Neveikimas nesant avarijs
Techninė apsaugos būklė	Selektyvumas	Selektyvus RAA poveikis		Selektyvus RAA neveikimas	Selektyvus RAA neveikimas
		Apsaugos jautrumas	Apsaugos greitas veikimas		
	Funkcionavimo pastovumas	Apsaugos pastovus veikimas		Pastovus neveikimas esant išorinėms avarijs	Pastovus neveikimas nesant išorinėms ar vidinėms avarijs
		Apsaugos jautrumas	Apsaugos greitas veikimas		
Funkcionavimo patikimumas		Patikimas veikimas esant pažeistam saugomam objektui		Patikimas neveikimas esant išorinėms avarijs	Patikimas neveikimas nesant jokioms avarijs saugomajame objekte ir už jo ribų

RAA funkcionavimo pastovumas nusakomas neveikimo pastovumu esant išorinėms avarijs ir pastoviu apsaugos veikimu atsiradus avarijai (trumpam jungimui) saugomojoje zonoje. RAA greito veikimo pastovumas charakterizuojamas suveikimo laiko stabilumu esant vidiniams trumpiesiems jungimams.

### 1.3. Norminių teisės aktų reikalavimų atitikimas

Pagrindiniai norminiai teisės aktai elektros įrenginiams:

- 2011 metais birželio 3 dieną įsigaliojęs „Elektros įrenginių relinės apsaugos ir automatikos įrengimo taisyklės“ patvirtintos Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2011 m. Gegužės 27d. Įsakymu Nr. 1-134.
- 2012 metais gegužės 1 dieną įsigaliojęs „Elektros įrenginių įrengimo bendrosios taisyklės“ patvirtintos Lietuvos Respublikos energetikos ministro 2012 m. Vasario 3d. Įsakymu Nr. 1-22.

Elektros įrenginių relinės apsaugos ir automatikos įrengimo taisyklės nustato elektros įrenginių, tarp jų iki 1000 V įtampos elektros įrenginių ir kurių įtampa aukštesnė kaip 1000 V – generatorių, transformatorių (autotransformatorių), generatoriaus ir transformatoriaus bloku, elektros linijų, šynų, elektros energetikos sistemos, elektrinių, elektros tinklų, taip pat kitų elektros įrenginių, tarp jų – puslaidininkinių keitiklinių įrenginių, asinchroninių, sinchroninių ir nuolatinės srovės elektros variklių, kondensatorių relinės apsaugos ir automatikos bei teleinformacinių sistemų įrangos įrengimo reikalavimus [1].

Elektros įrenginių įrengimo bendrosios taisyklės nustato elektros tinklų, visų tipų laidininkų, elektros aparatų parinkimo, elektros energijos apskaitos ir elektros dydžių matavimo, elektros įrenginių įžeminimo ir apsaugos nuo viršįtampių bei jų bandymų ir matavimų bendruosius reikalavimus [6].

Elektros įrenginių įrengimo bendrųjų taisyklių 3 skyriuje pateikiami reikalavimai relinei apsaugai ir automatikai. Bendrieji reikalavimai nurodo, kad apsaugos įtaisų išjungimo geba turi atitikti saugomos elektros tinklo dalies pradžios trumpojo jungimo srovės didžiausią vertę. Tačiau daroma ir išimčių, kada leidžiama įrengti apsaugos aparatus neatsparius trumpojo jungimo didžiausioms vertėms. Išimtyt daromas, kai neselektyvus visos įtaisų grupės išjungimas nesukelia avarijos, nesugadina brangių įrenginių ir pan. Taip pat, kai saugantis juos arba artimiausias maitinimo pusėje esantis įtaisas nedelsiant išjungia trumpojo jungimo srovę, jei šio įtaiso momentinio atkabiklio nuostato srovė yra mažesnė už kiekvieno neatsparių įtaisų grupės įrenginio komutacinės gebos srovę [6].

Elektros įrenginių įrengimo taisyklėse minima, kad apsaugos aparatai (iki 1000V įtampos elektros įrenginių apsauga) turi būti išdėstyti aptarnaujančiam personalui prieinamose vietose, apsaugant nuo mechaninio pažeidimo. Neturi kilti pavojus personalui atliekant perjungimo veiksmus su apsaugos įtaisais ar jiems veikiant.

Apsaugos įtaisai montuojami tose vietose, kuriose būtina užtikrinti apsaugos selektyvumą ir jautrumą arba tinklo laidininko skerspjūvio sumažėjimo vietose.

Aukštesnės nei 1000V įtampos apsaugos aparatai saugo transformatorius (autotransformatorius), generatorius, generatoriaus ir transformatoriaus blokus, elektros linijas, šynas bei sinchroninius kompensatorius. Jų apsaugą atlieka relinės apsaugos įtaisai.

Elektros įrenginiai turi turėti relinės apsaugos įtaisus, kurių paskirtis yra:

- Sugedusio objekto automatinio išjungimo iš elektros sistemos nepažeistos dalies naudojant jungtuvą; jei trumpasis jungimas tiesiogiai nesutrikdo elektros sistemos darbo, relinei apsaugai suveikus leidžiama įjungti tik signalizaciją [6]
- Reagavimo į pavojus, nenormalius elektros sistemos objektų darbo režimus; relinė apsauga pagal faktinio darbo režimo ir elektros įrenginio eksploatavimo sąlygas turi

įjungti signalizaciją arba išjungti tuos objektus, kurie gali sugesti palikus juos neišjungtus [6].

Be automatinų jungiklių ar relinės apsaugos įtaisų galima naudoti saugiklius, tačiau jie turi atitikti šiuos keliamus reikalavimus:

- Turi būti parinkti reikiamų parametru;
- Turi užtikrinti reikiamą selektyvumą, greitaveiką ir jautrumą;
- Pagal elektros įrenginio darbo sąlygas leidžia panaudoti būtiną automatiką (AKĮ, ARĮ ir t.t.).

Žemos įtampos automatiniai jungikliai standartizuojami pagal LST EN 60898 ir LST EN 60947-2 standartus. LST EN 60898 standartas apibrėžia reikalavimus jungikliams iki 125A vardinės srovės, automatiniai jungikliai, skirti apsaugai nuo viršsrovių naudojant namų ūkyje ir panašiose instaliacijose. LST EN 60947-2 standartas reglamentuoja žemosios įtampos skirstymo ir valdymo įrenginius, 2 dalis – automatiniai jungikliai [7].

LST EN 60269 standarto pirmoje dalyje aprašomi žemos įtampos saugikliai, bendrieji reikalavimai.

LST EN 60947 žemosios įtampos perjungimo ir valdymo įrenginiai. 3 dalis. Perjungikliai, skyrikliai, atjungiantieji skyrikliai ir saugikliniai įtaisai. Saugiklių deriniai, skirti paskirstymo grandinėms, kurių vardinė įtampa neviršija 1000V AC arba 1500 V DC.

DIN 43625 standartas – vidutinės įtampos saugikliai, tinkantys transformatorių apsaugai.

## **2. APSAUGOS APARATŲ APŽVALGA**

### **2.1. Populiarūs apsaugos aparatų gamintojai šiandieninėje rinkoje**

Visame pasaulyje žinomos tarptautinės kompanijos ABB, Siemens ir Schneider Electric yra labai populiarios ir Lietuvoje. Įmonės užsiima įvairių elektrifikacijos produktų gamyba ir ne tik. Todėl buvo nuspręsta darbe naudoti būtent šių gamintojų apsaugos aparatų charakteristikas.

Oficialiame ABB tinklalapyje [8], įmonė pristatoma, kaip elektrifikuotų produktų, robotų ir pavarų, pramonės automatizavimo ir elektros tinklų novatoriškų technologijų lyderė, aptarnaujanti energetikos, pramonės, transporto ir infrastruktūros objektų užsakovus visame pasaulyje. ABB sertifikuota pagal ne vieną standartą, pvz. nuo 2003 metų bendrovėje įdiegta ir sertifikuota Kokybės vadybos sistema pagal ISO 9001 standarto reikalavimus.

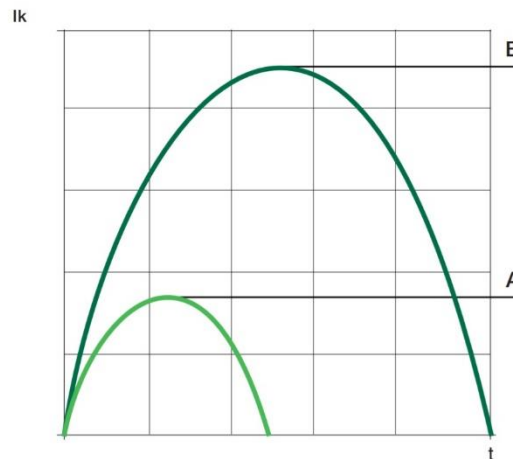
Siemens, tai tarptautinė technologijų ir inovacijų kompanija kurianti ir diegianti sprendimus energijos, pramonės, sveikatos priežiūros bei infrastruktūros ir miestų sektoriuose [9]. Siemens kaip ir ABB užima lyderių pozicijas pasaulinėje energetikos rinkoje. Bendrovė tiekia platų spektrą produktų, sprendimų ir paslaugų energijai gaminti, perduoti ir paskirstyti.

Schneider electric Europos tarptautinė korporacija, kuri specializuojasi energijos valdymo, automatikos sprendimų, techninės įrangos, programinės įrangos ir paslaugų srityse.

Visos aukščiau išvardintos įmonės skiria didelį dėmesį gaminių kokybei, laikosi tarptautinių standartų reikalavimų.

### **2.2. Automatinių jungiklių bendra apžvalga**

Automatinis jungiklis – tai įtaisas, kuris atjungia elektros grandinę atsiradus gedimui. Pagrindinė automatinio jungiklio paskirtis yra atsijungiant apsaugoti vartotojus ir tinklus iškilus avarinei situacijai. Ši savybė apibrėžiama kaip „išjungiamoji geba“. Dažniausiai pasitaikantys gedimai, tai perkrovos ir trumpieji jungimai. Apsaugos elementai nuo trumpojo jungimo yra sumontuotos pačiame automatiniame jungiklyje. Žemos įtampos automatiniai jungikliai gali būti srovę ribojantys ir selektyvūs.



2.2.1 pav. Srovę ribojantys (A kreivė) ir selektyvūs (B kreivė) automatiniai jungikliai

Srovę ribojantys automatiniai jungikliai suveikia per pakankamai trumpą laiką, kol trumpojo jungimo srovė nespėja pasiekti numatytos pikinės vertės, jie priskiriami A naudojimo kategorijai.

Selektyvūs automatiniai jungikliai geba praleisti per save trumpojo jungimo srovę, apibrėžtą trumpą laiką, jie priskiriami B naudojimo kategorijai. Šie jungikliai gali būti naudojami selektyvumui pagal laiką realizuoti.

Automatinio jungiklio parametrai [2]:

$U_{NA}$  – automatinio jungiklio vardinė įtampa;

$I_{NA}$  – automatinio jungiklio vardinė srovė, kurią jungiklis praleidžia neišjungdamas. Srovės būna tam tikros standartizuotos eilės. Mažų srovių jungikliams priskiriami jungikliai, kurių srovė nuo 1A iki 125A, didelių – nuo 250A iki 4000A.

$I_{MATK}$  – automatinio jungiklio magnetinio atkabiklio srovė, kurią viršijus jungiklis išjungiamas su minimaliu uždelsimu.

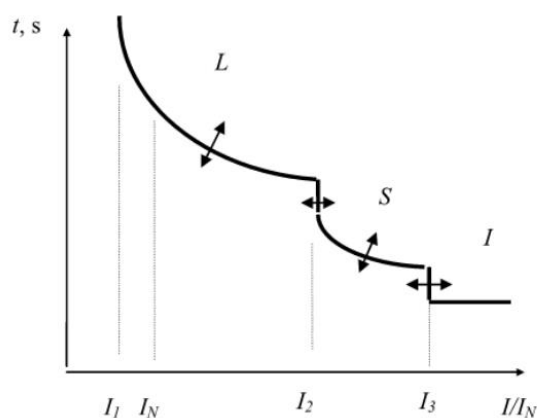
$I_{NT}$  – vardinė trumpojo jungimo išjungimo srovė. Maži jungikliai saugiai išjungia 3-10 kA srovę, o dideli – 36 – 100kA srovę.

Vidutinių ir didelių srovių automatinių jungiklių charakteristikos formuojamos puslaidininkiniais ar mikroprocesoriniais elementais. Elektroniniu būdu galima suformuoti didelių srovių automatinio jungiklio laiko ir srovės charakteristikas. Šias charakteristikas sudaro trys parametrai [2]:

L – apsauga nuo perkrovos, charakteristika kinta pagal dėsnį  $t=k/(I/I_N)^2$ ;

S – apsauga nuo TJ su nepriklausoma reguliuojama charakteristika ;

I – apsauga nuo TJ su nepriklausoma charakteristika.



2.2.2 pav. Elektroniniu būdu suformuota automatinio jungiklio laiko ir srovės charakteristika [2]

### 2.3. Saugiklių bendra apžvalga

Saugikliai yra elektroniniai prietaisai, naudojami elektros grandinių apsaugai nuo perkrovų ir trumpųjų jungimų. Saugikliai gali būti porcelianiniai, hidrofobinio silicio ir polimerinės – betoninės medžiagos. Rinkoje yra daugybė saugiklių tipų, tačiau visų jų funkcijos yra tos pačios. Įvykus trumpajam jungimui saugiklio viduje esantis lydusis įdėklas (metalinė juostelė) išsilydo, dėl šilumos, kurią sukelia per didelės saugikliu tekančios srovės. Taip atjungiama elektros grandinė.

Saugiklius patogiu naudoti ten, kur maža avarinio išjungimo tikimybė. Buityje saugiklius dažniausiai pakeičia automatiniai jungikliai. Saugikliai naudojami tiek žemos, tiek vidutinės įtampos elektros tinkluose. Saugikliai gali išjungti 80-120 kA trumpojo jungimo srovės. Vidutinės įtampos tinkle saugikliai dažniausiai naudojami mažos galios transformatoriaus įvado apsaugai.

Pagrindiniai saugiklio parametrai [2]:

$U_{NS}$  – saugiklio vardinė įtampa;

$I_{NS}$  – saugiklio vardinė srovė, apibūdinanti saugiklio srovines dalis ir kontaktinius sujungimus;

$I_{NI}$  – srovė, kurią saugiklio lydusis įdėklas praleidžia neišsilydydamas;

$I_{NF}$  – vardinė trumpojo jungimo išjungimo srovė.

Saugikliai žymimi dviejų skaičių trupmena, kur skaitiklyje nurodoma  $I_{NS}$ , o vardiklyje  $I_{NI}$ .

Saugiklių paskirtis yra žymima dviem simboliais. Pirmasis simbolis nurodo atjungimo diapazoną:

a – atitinka saugiklio vykdomą apsaugą daliniame apkrovų diapazone (angl. accompanied fuse – lydieji saugikliai dalinei apsaugai). Šios klasės saugikliai saugo tik nuo trumpųjų jungimų.



g – atitinka saugiklio vykdomą apsaugą visame apkrovų diapazone (angl. general purpose fuse – bendrosios paskirties lydieji saugikliai). Jie saugo elektros grandines nuo perkrovų ir nuo trumpųjų jungimų.

Antrasis simbolis nurodo naudojimo paskirtį [2]:

R – saugiklis skirtas puslaidininkinių įtaisų apsaugai;

G – bendrosios paskirties lydusis įdėklas;

M – variklių ir skirstomųjų įrenginių apsaugai;

F – ilgų elektros linijų apsaugai;

Tr – transformatorių, induktyvinių elementų apsaugai.

Saugikliai, pagal įėjimo įtampą, skirstomi į du tipus – tai kintamos srovės saugikliai ir nuolatinės srovės saugikliai.

Nuolatinės srovės saugiklis atidaro arba nutraukia grandinę, kai per ją teka per didelė srovė. Nuolatinės srovės saugikliai susiduria su sunkumais tokiais kaip, tiesioginės srovės sudaromas lankas labai sunkiai užsidaro, nes grandinėje nėra nulinių srovių. Siekiant sumažinti nuolatinės srovės saugiklio lanką, elektrodai yra išdėstomi didesniu atstumu vienas nuo kito, ir todėl šis saugiklis yra didesnis, palyginti su kintamosios srovės saugikliu. Dėl savo sudėtingesnės sandaros nuolatinės srovės saugikliai būna brangesni už kintamos srovės saugiklius.

Kintamos srovės saugikliai skirstomi į aukštos ir žemos įtampos saugiklius. Kintamos srovės saugiklių grandinės nutraukimas vyksta paprasčiau, palyginti su nuolatinės srovės grandine, nes šių saugiklių dažnio amplitudė per vieną sekundę keičiasi nuo 0° iki 60°.

Žemos įtampos saugikliai skirstomi į penkias kategorijas:

1. Saugikliai su pakeičiamu lydžiuoju intarpu (angl. rewirable fuses), šio tipo saugikliai dažniausiai naudojami vidaus instaliacijai arba mažų srovių grandinėse. Saugiklio pagrindinės dalys yra jo korpusas ir saugiklio laikiklis. Saugiklio pagrindas pagamintas iš porceliano. Saugiklio laikiklį galima lengvai įdėti arba išimti iš pagrindo neatveriant pagrindinio jungiklio.

2. Visiškai uždari arba kasetės tipo saugikliai (angl. totally enclosed or cartridge type fuses). Visas saugiklio elementas yra uždaroje talpykloje, iš abiejų pusių yra metaliniai kontaktai. Šie saugikliai taip pat klasifikuojami kaip „D“ tipo kasetiniai saugikliai ir plokšteliniai saugikliai.

2.1. „D“ tipo kasetiniai saugikliai (angl. D type cartridge fuses) sudaryti iš pagrindo, adapterio žiedo, kasetės ir saugiklio dangtelio. Kasetė laikoma saugiklio dangtelyje, o saugiklio dangtelis pritvirtintas prie saugiklio pagrindo. Kasetės antgalis liečia laidininką, kai jis visiškai prisukamas prie pagrindo, ir tokiu būdu užbaigia grandinę per saugiklio jungtis.

2.2. Plokštelės tipo kasetė arba didelė atjungiamoji geba (angl. link type cartridge fuses). Tokio tipo saugiklis ilgai išlaiko trikties srovę. Jei triktis nėra aiški, saugiklio elementas išsilydamas atveria grandinę. Pagrindinis šio tipo saugiklių privalumas yra tas, kad jie susitvarko tiek

su žema, tiek su didele trikties srove. Šie saugikliai turi didelės spartos veikimą, nereikalauja didelės priežiūros. Didelės atjungiamosios gebos saugiklio gaubtas užpildytas gryno kvarco milteilais, kurie veikia kaip lanko nutraukimo terpė. Saugiklio laidas gaminamas iš sidabro ir vario vielos. Siekiant padidinti saugiklių pertraukiamąją gebą, du ar daugiau sidabrinių laidų jungiami lygiagrečiai. Šie laidai sureguliuojami taip, kad vienu metu išsilydytų tik vienas.

3. Lydusis išmetimo saugiklis (angl. dropout fuse). Lydantis saugikliui, saugiklio elementas iššoka. Tokio tipo saugikliai naudojami lauko transformatorių apsaugai.

4. Kombinuoto tipo saugiklis (angl. striker fuse). Tai mechaninis įtaisas, turintis pakankamai jėgos ir poslinkio, kuris gali būti naudojamas uždarant grandines.

5. Jungiklis – saugiklis (angl. switch fuse). Tokio tipo saugikliai naudojami žemos ir vidutinės įtampos grandinėse. Saugikliai gali būti 30, 60, 100, 200, 400, 600, 800 amperų srovės. Saugiklio blokas yra 3 arba 4 polių įrenginys.

Aukštos įtampos saugikliai skirstomi į tris tipus.

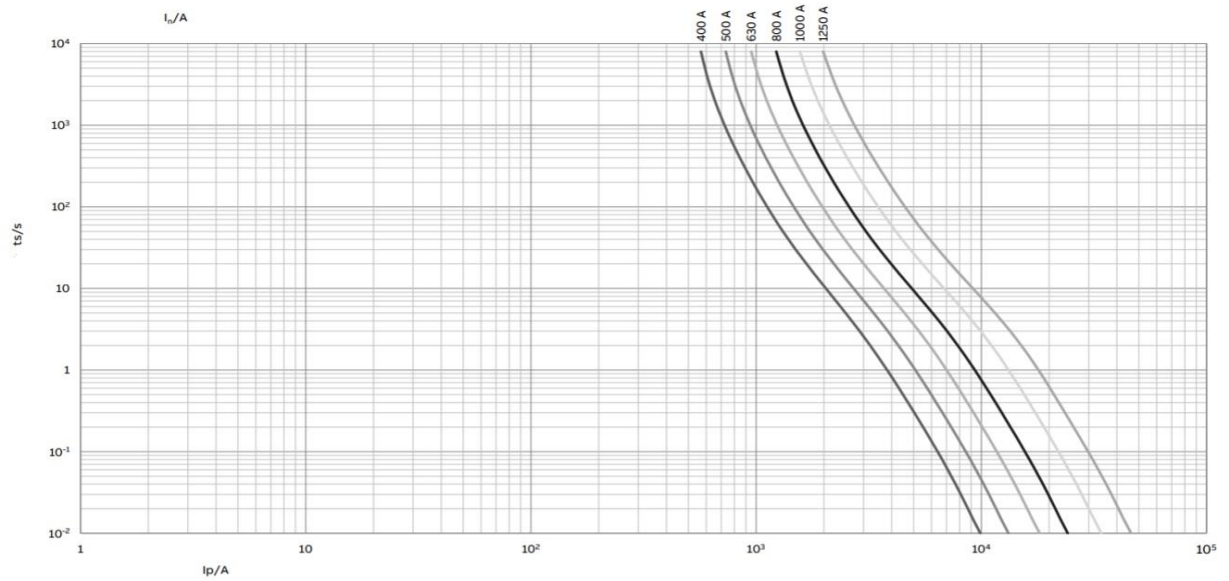
1. Kasetės tipo aukštos įtampos didelės atjungiamosios gebos saugiklis (angl. cartridge type HV HRC fuses). Didelės atjungiamosios gebos saugiklio elementas yra suvyniotas spiralės formos pavidalu, dėl kurio išvengiama vainiko efekto esant didesnei įtampai. Jis turi du lygiagrečiai vienas kitam elementus, vienas yra mažo atsparumo, o kitas - labai atsparus. Mažo atsparumo laidu teka įprasta srovė, kuri nutrūksta ir sutrinka trumpojo jungimo srovė.

2. Skysto tipo saugiklis (angl. liquid type HV HRC fuse). Tokio tipo saugikliai užpildomi anglies tetrachloridu ir užsandarinami abiejuose dangtelio galuose. Kilus trikdžiai, srovė viršija leistiną ribą, o saugiklis išsipučia. Saugiklio skystis veikia kaip lanko gesinimo terpė didelės atjungiamosios gebos saugikliams. Jie gali būti naudojami transformatorių apsaugai ir atsarginei apsaugai grandinės pertraukikliui.

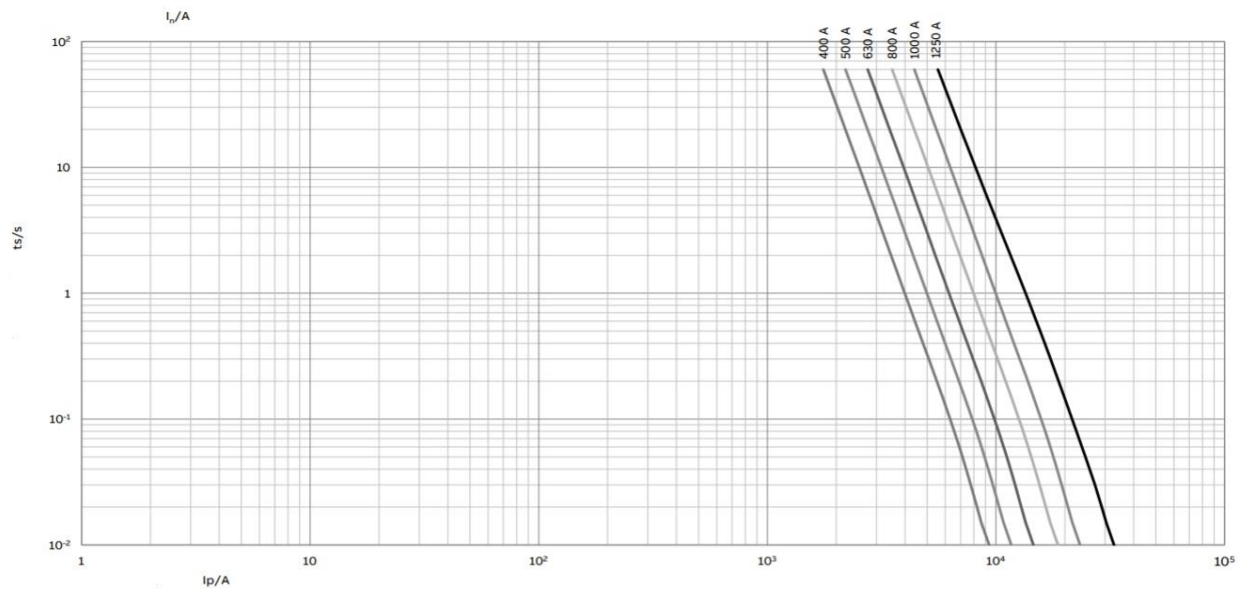
3. Išmetimo tipo saugiklis (angl. Expulsion type HV fuse). Išmetimo tipo saugikliai plačiai naudojami transformatorių apsaugai dėl jų mažų sąnaudų. Tokio tipo saugikliai yra tuščiaviduriai atviro tipo vamzdžiai, pagaminti iš sintetinio dervos popieriaus. Saugiklių elementai patalpinti vamzdžiuose, o vamzdžių galai prijungiami prie tinkamų jungčių kiekviename gale. Susidarantis lankas išsipučia vamzdžio vidinėje dangoje, todėl susidariusios dujos gesina lanką.

## 2.4. ABB apsaugos aparatai

### 2.4.1. Saugikliai

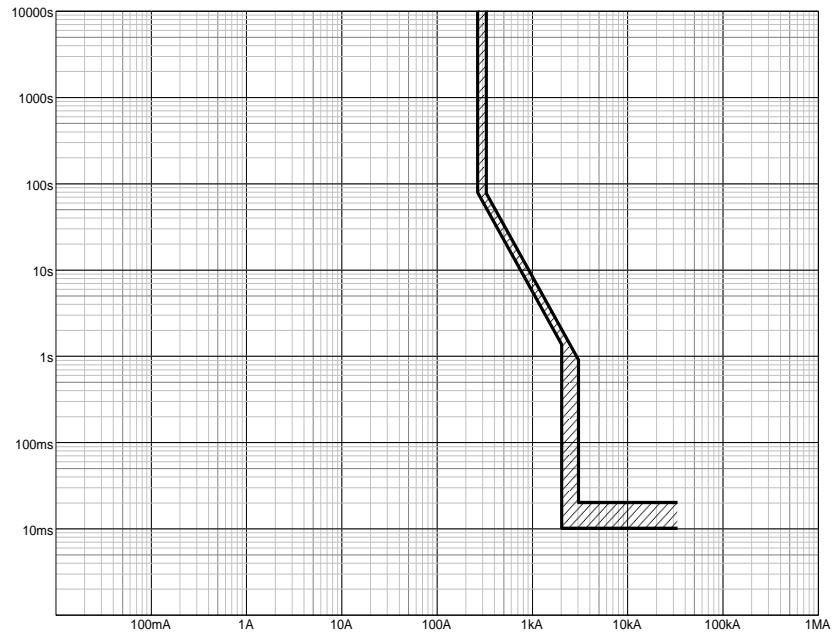


2.4.1.1. pav. Bendrosios paskirties ABB OFAF\_H\_ 500 V įtampos saugiklių gG laiko ir srovės charakteristikos [14].



2.4.1.2. Variklių ir skirtomųjų įrenginių apsaugai skirtų ABB OFAF 500V įtampos saugiklių aM laiko ir srovės charakteristikos [14].

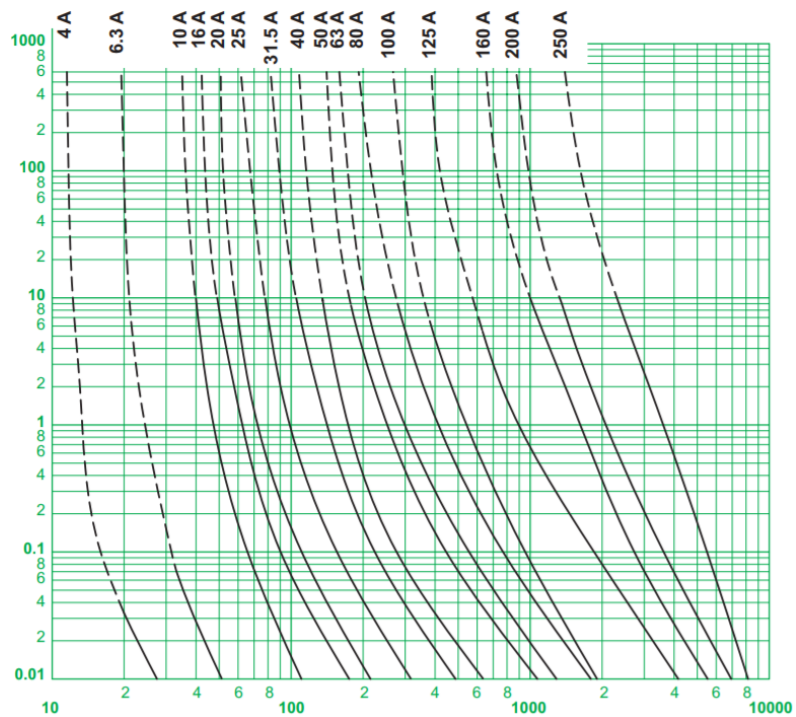
## 2.4.2. Automatiniai jungikliai



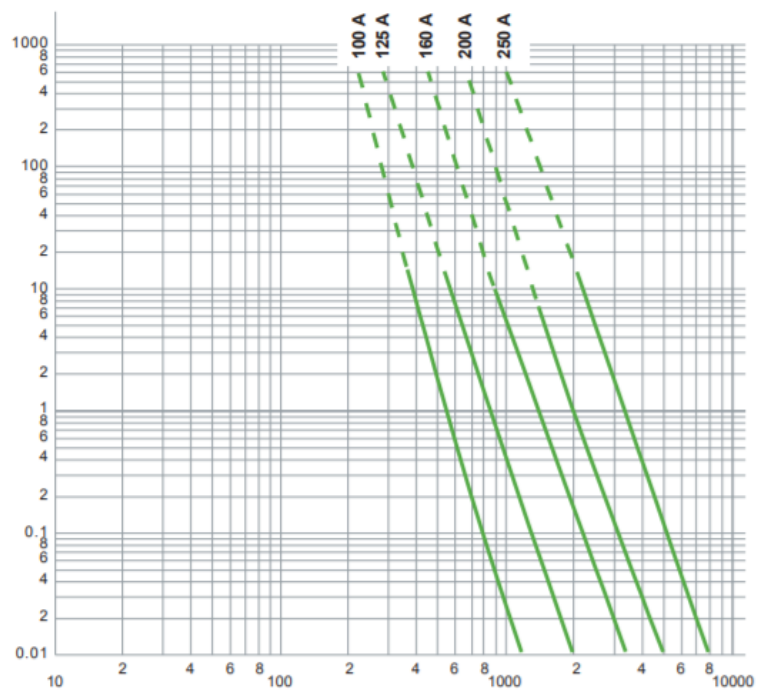
2.4.2.1. pav. „ABB“ automatinio jungiklio „ACB Emax 800“ 400V įtampos laiko ir srovės charakteristika

## 2.5. Schneider electric apsaugos aparatai

### 2.5.1. Saugikliai

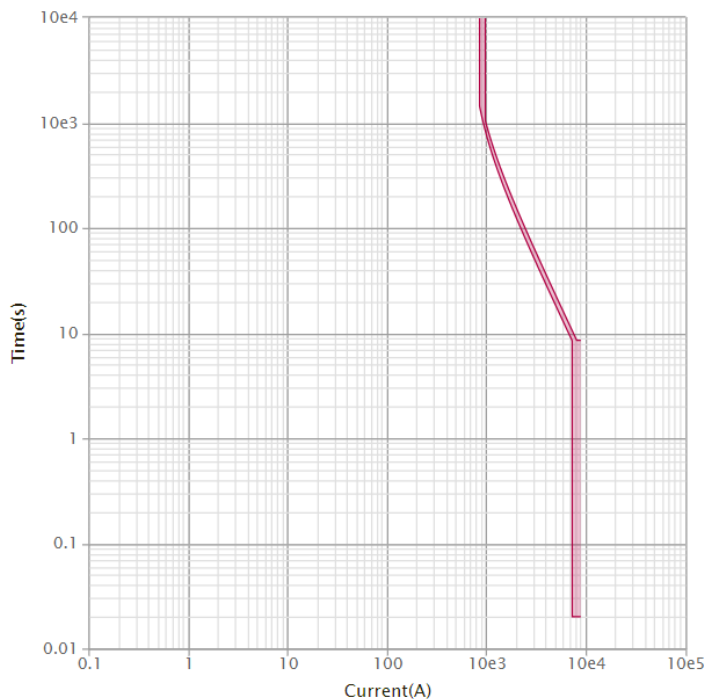


2.5.1.1. pav. „Schneider electric“ saugiklių „Fusarc CF“ 3 – 36 kV įtampos, naudojamų komplektinėse pastotėse, laiko ir srovės charakteristika



2.5.1.2. pav. „Schneider electric“ saugiklių „MGK“ 7,2 kV įtampos, skirtų apsaugoti vidutinės įtampos variklius, laiko ir srovės charakteristika

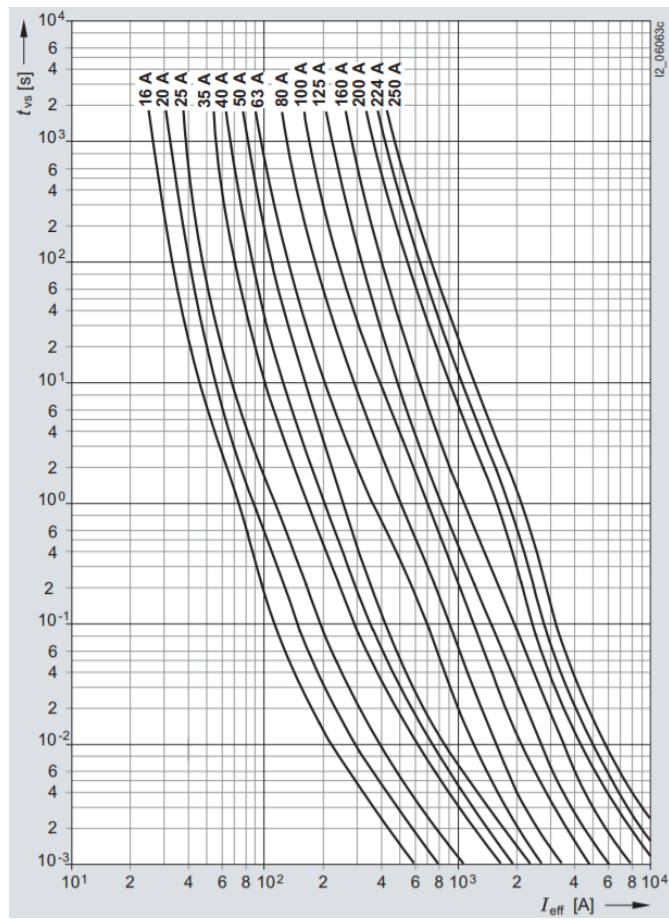
### 2.5.2. Automatiniai jungikliai



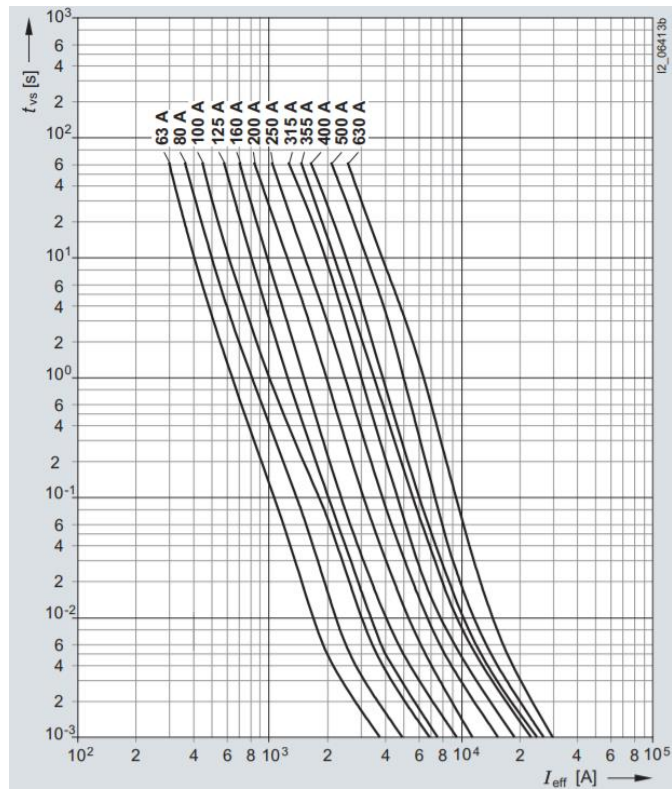
2.5.2.1. pav. „Schneider electric“ automatinio jungiklio „NS800H“ 400V įtampos laiko ir srovės charakteristika

## 2.6. Siemens apsaugos aparatai

### 2.6.1. Saugikliai



2.6.1.1. pav. Bendrosios paskirties Siemens 3NA3 1 serijos 500 V įtampos saugiklių gG laiko ir srovės charakteristikos [16]



2.6.1.2. pav. Variklių ir skirstomųjų įrenginių apsaugai skirtų Siemens 3ND1 3 690V įtampos saugiklių aM laiko ir srovės charakteristikos [16]

### 3. SKAITMENINIŲ RELINIŲ APSAUGŲ PARINKIMAS

Elektros tinklas ar jo dalys turi turėti apsaugą nuo trumpojo jungimo srovių, suveikiančią selektyviai, su trumpiausiu uždelsimu ir atitinkančią jautrumo reikalavimus [11]. Apsauga turi išjungti pažeistą tinklo dalį, kai saugomoje zonoje atsiranda šie trumpieji jungimai:

1. Trifaziai,  $K^{(3)}$  – kada visos trys elektros tinklo elemento fazės susijungia tarpusavyje. Jie sudaro apie 3-5% visų TJ.
2. Dvifaziai,  $K^{(2)}$  – kada kurios nors dvi elektros tinklo elemento fazės susijungia tarpusavyje. Jie sudaro 10-15% visų TJ.
3. Vienfaziai,  $K^{(1)}$  – kada viena elektros tinklo fazė susijungia su žeme arba nuliniu laidu. Jie sudaro 65-70% visų TJ.
4. Dvifazis su žeme,  $K^{(1,1)}$  – kada kurios nors dvi elektros tinklo elemento fazės susijungia tarpusavyje ir su žeme arba nuliniu laidu. Jie sudaro 20-25% visų TJ [2].

Kad pažeista tinklo dalis būtų patikimai išjungta, būtina, kad mažiausios skaičiuotinos trumpojo jungimo srovės santykis su saugiklio lyduko arba automatinio jungiklio atkabiklio vardine srove būtų lygus ar didesnis nei 3. Tinkluose, saugomuose tik nuo trumpojo jungimo srovių, kurių nereikia saugoti nuo perkrovos, leidžiama netikrinti trumpojo jungimo srovės kartotinumų, jei tenkinami laidininkų ilgalaikės leistinosios srovės ir apsaugos įtaisų atitinkamų srovių santykiai ne didesni už žemiau išvardytas vertes:

- 3 - saugikliui : leistinosios srovės ir lyduko vardinės srovės santykis ;
- 4,5 - automatiniam jungikliui tik su momentiniu atkabikliu : leistinosios srovės ir nuostato srovės santykis ;
- 1 - automatiniam jungikliui su nereguliuojama atvirkščiai priklausoma nuo srovės suveikimo laiko charakteristika (nepaisant, yra atkirta ar jos nėra): leistinosios srovės ir atkabiklio vardinės srovės santykis ;
- 1,25 - automatiniam jungikliui su reguliuojama atvirkščiai priklausoma nuo srovės suveikimo laiko charakteristika: leistinosios srovės ir atkabiklio pradinės srovės santykis , kai šis automatinis jungiklis turi atkirtą, tai jos suveikimo srovės kartotinumai neribojamas [11].

Pagal veikimo principą yra išskiriami šie pagrindiniai relinių apsaugų tipai:

- 1) distancinė apsauga,
- 2) diferencialinė apsauga,
- 3) maksimalios srovės apsauga.



### 3.1. Distancinė apsauga

Distancinė apsauga yra esminė RAA įrenginio funkcija, pasižyminti aukšto tikslumo matavimais, yra jautrios, reaguoja ne tik į TJ metu padidėjusią srovę, bet ir į sumažėjusią įtampą. Ši apsauga naudojama, kai MSA yra nepakankamai jautrios. Apsauga aptinka TJ į žemę ir TJ tarp fazių. Distancinės apsaugos naudojamos 110kV linijose Lietuvoje.

Distancinėse apsaugose yra kelios suveikimo zonos. Jos veikia skirtingu laiku. Taip pat, apsaugos neturi suveikti tekant apkrovos srovėms, ši problema išsprendžiama jas sukonfigūravus taip, kad aplenktų apkrovos varžų zoną.

### 3.2. Diferencinės apsaugos

Diferencinė apsauga (DIFA) veikia tuomet, kai dviejų arba keleto srovių skirtumas yra didesnis už numatytą. Ši apsauga naudojama saugoti transformatoriams, generatoriams, skirstyklų šynoms, elektros linijoms.

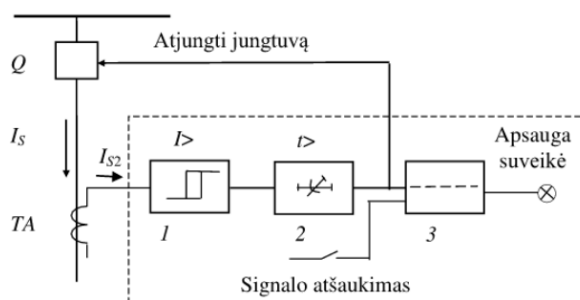
Diferencialinės relės labai jautriai reaguoja į apsaugos zonoje esančius gedimus, tačiau jos yra mažiausiai jautrios gedimams, kurie atsiranda už apsaugotos zonos ribų [13].

Normaliu režimu dviejų ar kelių srovių skirtumas yra nedidelis. Srovių skirtumas išauga, kai atsiranda gedimas linijoje, tada apsauga išjungia pažeistą elementą.

DIFA yra absoliučiai selektyvios, veikia be delsos, nevertinant ar elementas maitinamas iš vienos ar iš dviejų pusių. Tačiau šios apsaugos nerezervuoja gretimų elementų apsaugų [2].

### 3.3. Maksimalios srovės apsauga

Maksimalios srovės apsauga reaguoja į srovės padidėjimą. Apsaugos selektyvumui užtikrinti reikalingas uždelsimas. Apsaugų selektyvumai turi atitikti keliamus reikalavimus, skirtingų apsaugų laiko ir srovės charakteristikos turi nesiskirti. MSA gali būti derinamos tarpusavyje, taip pat su saugikliais ar automatiniais jungikliais.



3.3.1. pav. MSA struktūrinė schema: 1 – matavimo elementas (maksimalios srovės relė); 2 – delsos elementas (laiko relė su nepriklausoma arba priklausoma nuo srovės suveikimo trukme);

3 – atminties elementas.  $I >$  – nustatyta MSA suveikimo srovė,  $t >$  – nustatyta MSA suveikimo trukmė [2].

Apskaičiuojant MSA parametrus, reikia nustatyti pirminę apsaugos suveikimo srovę, relės suveikimo srovę, apsaugos suveikimo laiką arba suveikimo charakteristiką. Taip pat, reikia patikrinti ir apsaugos jautrumą, srovės transformatorių tikslumą, saugomo elemento terminį atsparumą TJ srovėms, tekančioms iki suveikiant apsaugai.

Apsaugos charakteristikos derinimas grafiniu būdu, braižant laiko ir srovės koordinatinių ašyse apsaugos suveikimo srovės priklausomybę nuo laiko, leidžia vizualiai nustatyti ar apsaugos veiks selektyviai.

MSA gali būti priklausoma ir nepriklausoma nuo laiko ir srovės charakteristikos. Priklausomos nuo laiko ir srovės charakteristikos būna įvairių parametru, vienos greičiau, kitos lėčiau krintančios. Tai reikalinga derinant šių apsaugų suveikimo trukmę su kitų apsaugos aparatų suveikimo trukme. MSA su nepriklausoma laiko charakteristika gali suveikti ne taip greitai kaip reikėtų, tai didelis apsaugos trūkumas. Tuo tarpu, apsaugai naudojant MSA su priklausoma laiko charakteristika, TJ bus atjungiamas greičiau.

3.3.1 lentelė. Skaitmeninių apsaugų laiko ir srovės charakteristikų parametrai [2]

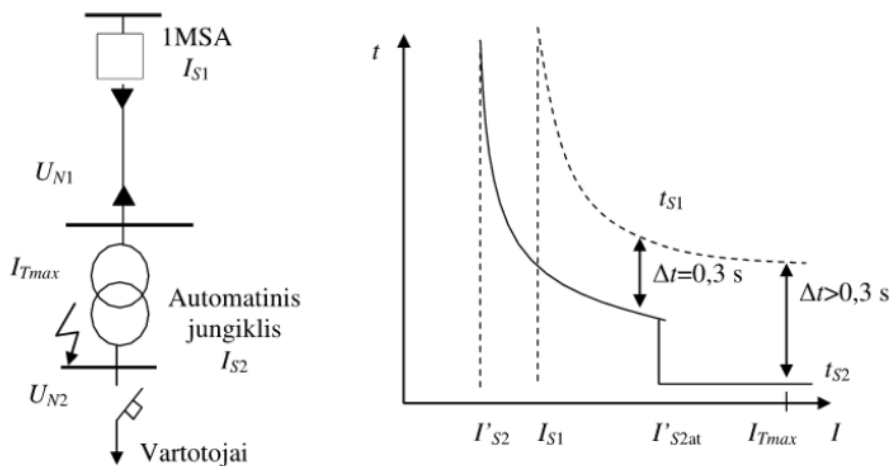
Charakteristikos tipas	$\alpha$	$\beta$	Koeficiento k kitimo ribos
Normali inversinė	0,02	0,14	0,05-1,0
Labai inversinė	1,0	13,5	0,05-1,0
Ypatingai inversinė	2,0	80,0	0,05-1,0
Ilgo laiko inversinė	1,0	120,0	0,05-1,0

Normalios inversijos charakteristika derinama su automatiniiais jungikliais, o kitų inversijų charakteristikų tipai leidžia MSA derinti su saugikliais [2].

Skaitmeninių relių srovės ir laiko charakteristika aprašoma sekančia išraiška:

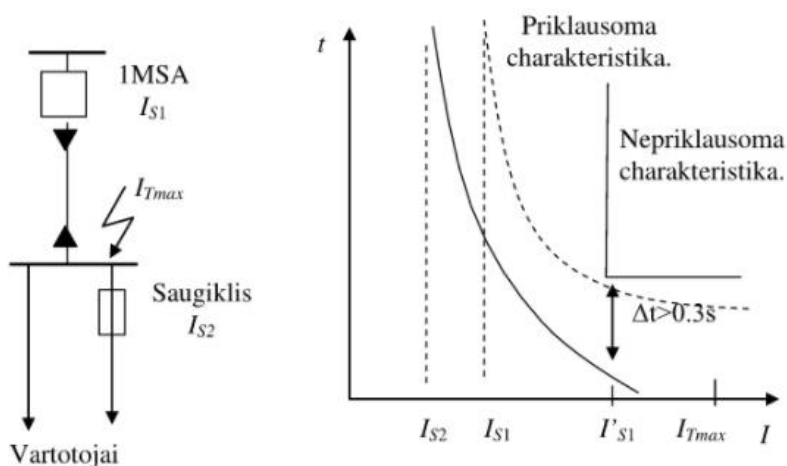
$$I_S = \frac{k \cdot \beta}{\left(\frac{I}{I_{SR}}\right)^{\alpha} - 1}; \quad (3.3.1)$$

Čia  $I_S$  – relės suveikimo laikas, s;  $k$  – laiko daugiklis, keičiantis apsaugos poveikio laiką;  $I$  – srovė antrinėje grandinėje,  $I_{SR}$  – nustatyta relės poveikio srovė. Koeficientai  $\alpha$  ir  $\beta$  priklauso nuo pasirinktos charakteristikos tipo ir pateikiami lentelėje 3.3.1.



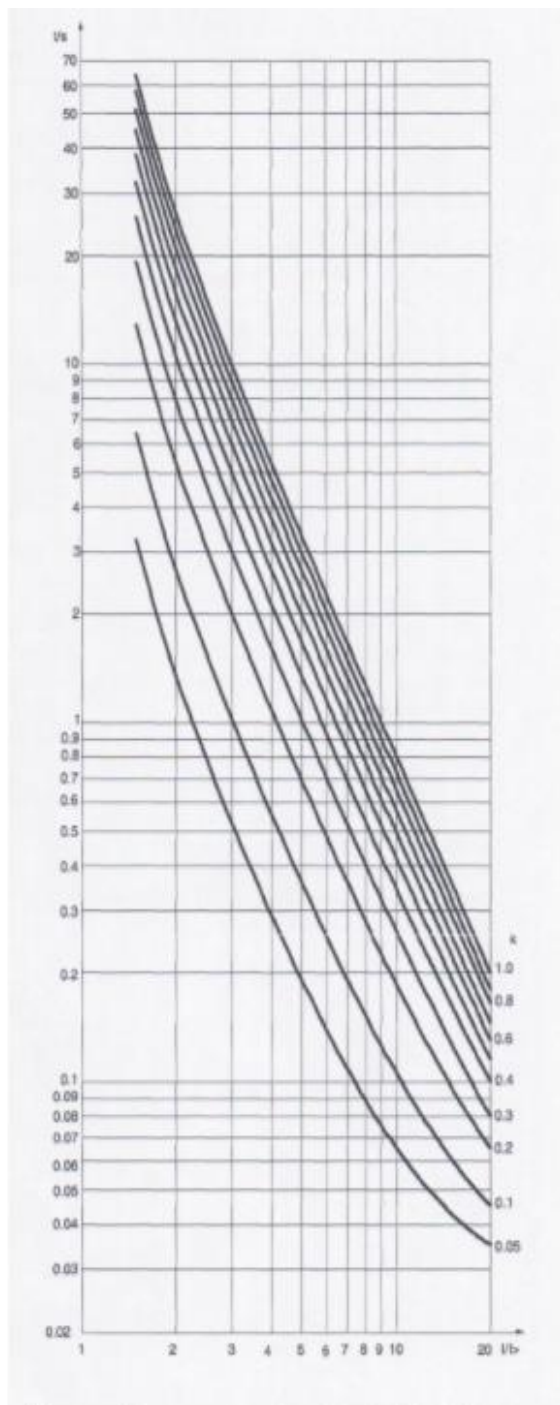
3.3.2. MSA ir automatinio jungiklio selektyvumo derinimas [2].

Derinant MSA su automatiniais jungikliais, svarbu, kad šie įrenginiai būtų vienos įtampos pakopos. Esant skirtingoms įtampos pakopoms, srovės charakteristikas reikia perskaičiuoti pasirinktai įtampos pakopai.

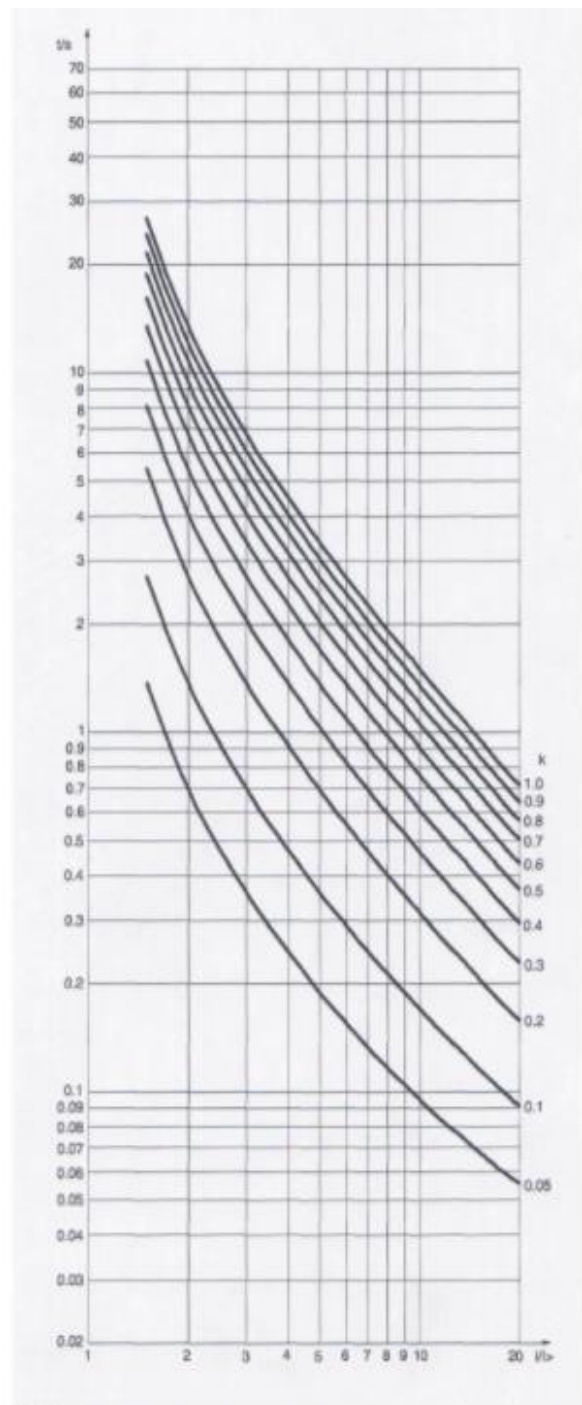


3.3.3. MSA ir saugiklio selektyvumo derinimas [2].

Kaip ir MSA derinant su automatiniais jungikliais, taip ir MSA derinant su saugikliais reikia išlaikyti tą pačią įtampos pakopą. Skaitmenines MSA galima derinti su saugikliais naudojant ne normalią inversinę charakteristiką, o ypač inversinę ar ilgo laiko inversinę, charakteristikas [2].

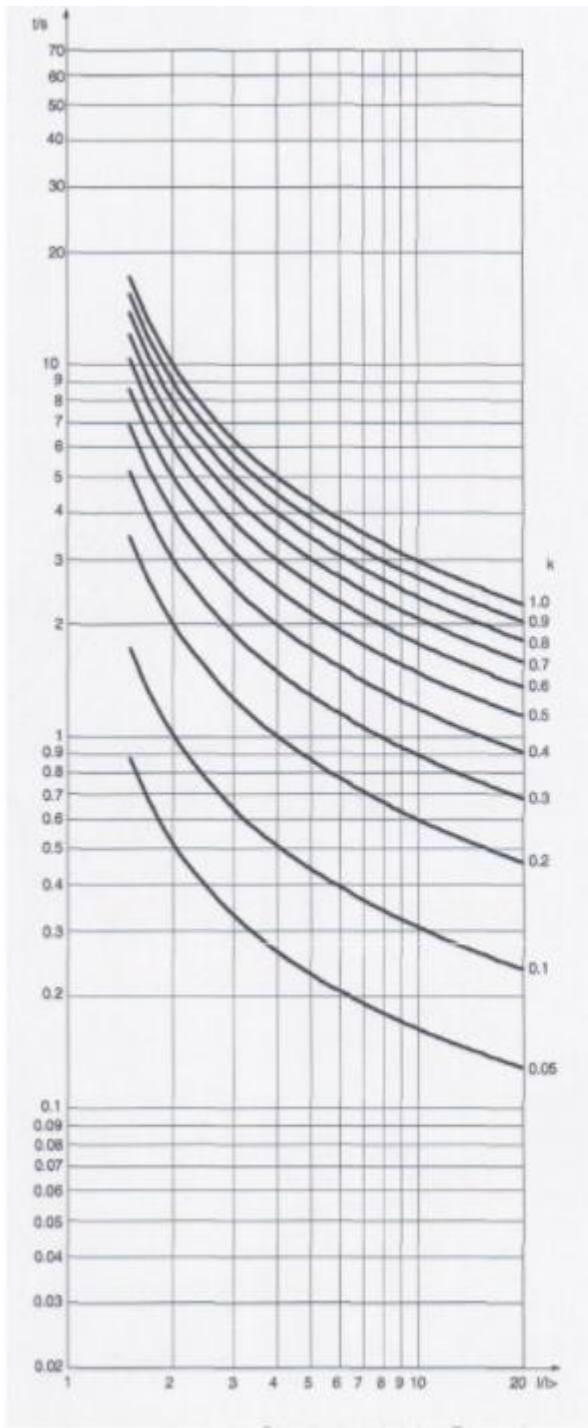


a) *Extremal inverse*

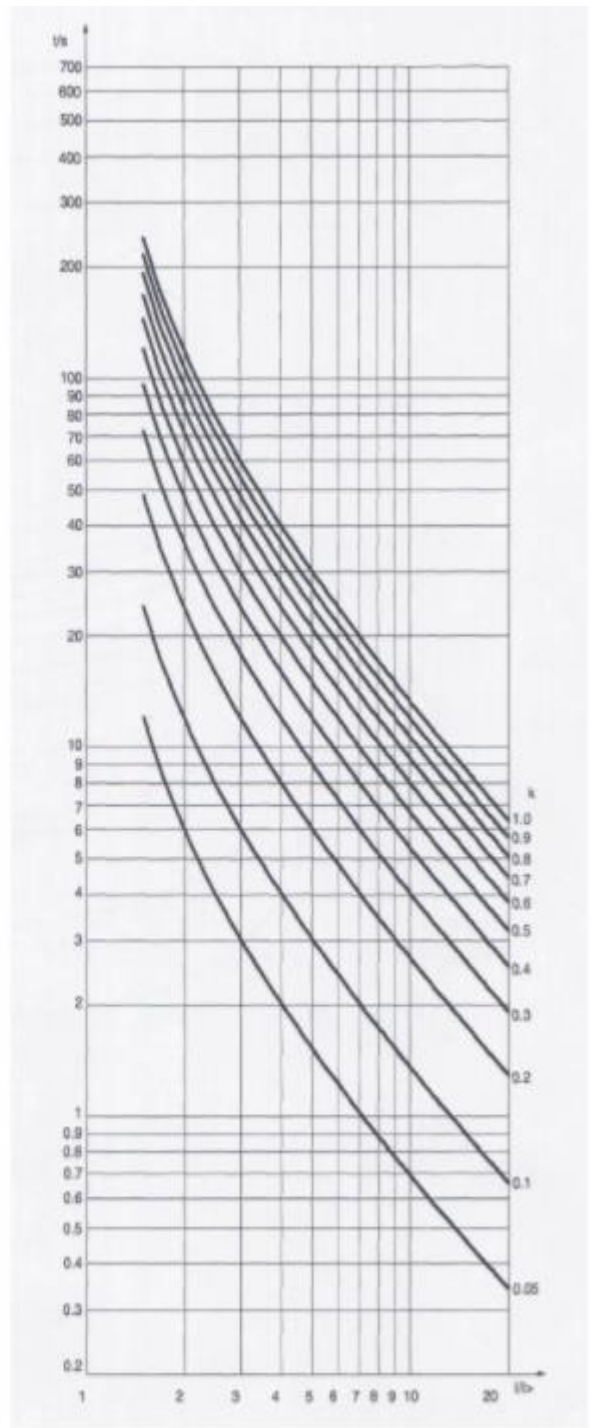


b) *Very inverse*

3.3.4. pav. Skaitmeninių relių laiko ir srovės charakteristikos. a – ypatingai inversinė (extremal inverse), b – labai inversinė (very inverse).



a) Normal inverse



b) Long time inverse

3.3.5. pav. Skaitmeninių relijų laiko ir srovės charakteristikos. a – normali inversinė (normal inverse), b – ilgo laiko inversinė (long time inverse).

#### 4. SKAIČIAVIMAI IR REKOMENDACIJOS

Apsaugų derinimas su skaitmeninėmis relėmis atliekamas aproksimuojant skaitmeninių relių laiko ir srovės charakteristikų išraiškos formulę 3.3.1.

Aproksimuojant 3.3.1 formulę, naudojamas mažiausių kvadratų metodu. Tai dažniausiai naudojamas suglodinimo metodas, kuris formuojamas taip: koeficientus  $a_k$ ,  $k = \overline{0, n}$  reikia apskaičiuoti taip, kad skirtumų tarp  $f(x_i)$  ir  $F(x_i)$  kvadratų suma būtų pati mažiausia, t.y. reikia minimizuoti [17]

$$S = \sum_{i=1}^m (F(x_i, a_0, \dots, a_n) - \tilde{y}_i)^2 \quad (4.1)$$

Aproksimuojant 3.3.1. formulę, reikalingas kintamojo koeficiento  $k$  parinkimas.  $K$  reikšmė nustatoma atliekant skaičiavimus – keičiant kintamojo  $k$  dydį (0,05, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1). Skaičiavimai atliekami Mathcad programa, naudojantis 400A saugiklio (2.4.1.2 pav.) reikšmėmis, rezultatai pateikiami žemiau.

Kai  $k=0.05$  gaunami tokie rezultatai:

$$\sum_{i=1}^6 [(60 - 0.229)^2 + (30 - 0.214)^2 + (4 - 0.165)^2 + (1 - 0.149)^2 + (0.4 - 0.135)^2 + (0.01 - 0.109)^2] = 2.685 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 [(60 - 0.193)^2 + (30 - 0.169)^2 + (4 - 0.096)^2 + (1 - 0.075)^2 + (0.4 - 0.059)^2 + (0.01 - 0.031)^2] = 2.69 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 [(60 - 0.208)^2 + (30 - 0.167)^2 + (4 - 0.063)^2 + (1 - 0.040)^2 + (0.4 - 0.026)^2 + (0.01 - 0.008)^2] = 2.689 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 [(60 - 1.714)^2 + (30 - 1.5)^2 + (4 - 0.857)^2 + (1 - 0.667)^2 + (0.4 - 0.522)^2 + (0.01 - 0.279)^2] = 2.532 \times 10^4$$

Kai  $k=0.2$  gaunami sekantys rezultatai:

$$\sum_{i=1}^6 [(60 - 0.917)^2 + (30 - 0.856)^2 + (4 - 0.659)^2 + (1 - 0.594)^2 + (0.4 - 0.54)^2 + (0.01 - 0.436)^2] = 2.611 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 [(60 - 0.771)^2 + (30 - 0.675)^2 + (4 - 0.386)^2 + (1 - 0.3)^2 + (0.4 - 0.235)^2 + (0.01 - 0.126)^2] = 2.629 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 [(60 - 0.831)^2 + (30 - 0.667)^2 + (4 - 0.254)^2 + (1 - 0.162)^2 + (0.4 - 0.103)^2 + (0.01 - 0.032)^2] = 2.626 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 [(60 - 6.857)^2 + (30 - 6)^2 + (4 - 3.429)^2 + (1 - 2.667)^2 + (0.4 - 2.087)^2 + (0.01 - 1.116)^2] = 2.044 \times 10^4$$

Kai  $k=0.4$  rezultatai tokie:

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 1.834)^2 + (30 - 1.712)^2 + (4 - 1.319)^2 + (1 - 1.188)^2 + (0.4 - 1.081)^2 + (0.01 - 0.872)^2 \right] = 2.515 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 1.543)^2 + (30 - 1.35)^2 + (4 - 0.771)^2 + (1 - 0.6)^2 + (0.4 - 0.47)^2 + (0.01 - 0.251)^2 \right] = 2.549 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 1.662)^2 + (30 - 1.333)^2 + (4 - 0.508)^2 + (1 - 0.323)^2 + (0.4 - 0.206)^2 + (0.01 - 0.063)^2 \right] = 2.543 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 13.714)^2 + (30 - 12)^2 + (4 - 6.857)^2 + (1 - 5.333)^2 + (0.4 - 4.174)^2 + (0.01 - 2.223)^2 \right] = 1.507 \times 10^4$$

Kai  $k=0.6$  gaunami rezultatai:

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 2.751)^2 + (30 - 2.568)^2 + (4 - 1.978)^2 + (1 - 1.782)^2 + (0.4 - 1.621)^2 + (0.01 - 1.307)^2 \right] = 2.423 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 2.314)^2 + (30 - 2.025)^2 + (4 - 1.157)^2 + (1 - 0.9)^2 + (0.4 - 0.704)^2 + (0.01 - 0.377)^2 \right] = 2.471 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 2.494)^2 + (30 - 2)^2 + (4 - 0.762)^2 + (1 - 0.485)^2 + (0.4 - 0.309)^2 + (0.01 - 0.095)^2 \right] = 2.461 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 20.571)^2 + (30 - 18)^2 + (4 - 10.286)^2 + (1 - 8)^2 + (0.4 - 6.261)^2 + (0.01 - 3.349)^2 \right] = 1.1 \times 10^4$$

Kai  $k=0.8$  skaičiavimų rezultatai tokie:

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 3.667)^2 + (30 - 3.424)^2 + (4 - 2.637)^2 + (1 - 2.376)^2 + (0.4 - 2.162)^2 + (0.01 - 1.743)^2 \right] = 2.334 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 3.086)^2 + (30 - 2.7)^2 + (4 - 1.543)^2 + (1 - 1.2)^2 + (0.4 - 0.939)^2 + (0.01 - 0.502)^2 \right] = 2.395 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 3.325)^2 + (30 - 2.667)^2 + (4 - 1.016)^2 + (1 - 0.646)^2 + (0.4 - 0.412)^2 + (0.01 - 0.127)^2 \right] = 2.381 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 27.429)^2 + (30 - 24)^2 + (4 - 13.714)^2 + (1 - 10.667)^2 + (0.4 - 8.348)^2 + (0.01 - 4.465)^2 \right] = 8.206 \times 10^3$$

Kai  $k=1$  gaunami tokie rezultatai:

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 4.584)^2 + (30 - 4.28)^2 + (4 - 3.297)^2 + (1 - 2.971)^2 + (0.4 - 2.702)^2 + (0.01 - 2.179)^2 \right] = 2.248 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 3.857)^2 + (30 - 3.375)^2 + (4 - 1.929)^2 + (1 - 1.5)^2 + (0.4 - 1.174)^2 + (0.01 - 0.628)^2 \right] = 2.32 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 4.156)^2 + (30 - 3.333)^2 + (4 - 1.27)^2 + (1 - 0.808)^2 + (0.4 - 0.515)^2 + (0.01 - 0.158)^2 \right] = 2.302 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 34.286)^2 + (30 - 30)^2 + (4 - 17.143)^2 + (1 - 13.333)^2 + (0.4 - 10.435)^2 + (0.01 - 5.581)^2 \right] = 6.707 \times 10^3$$

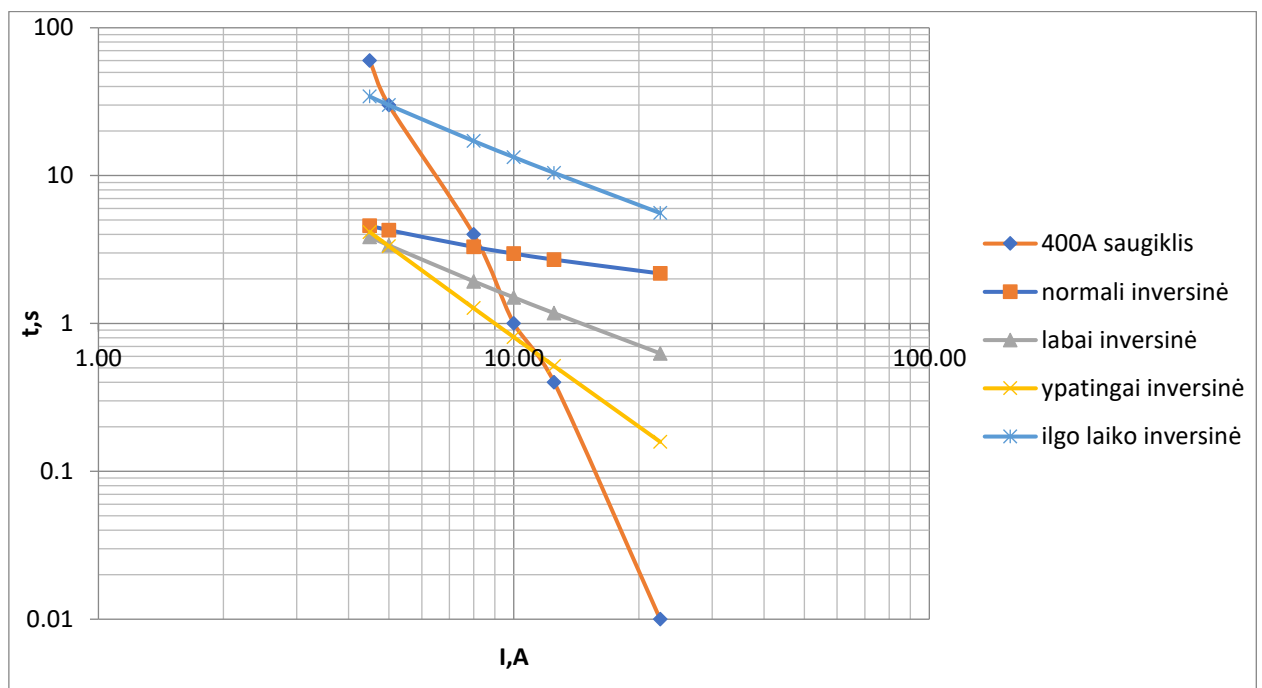
Atlikus skaičiavimus su pasirinktomis kintamojo k reikšmėmis, matoma, kad k reikšmei didėjant, rezultatas mažėja. Tai reiškia, kad saugiklio kreivė artimiausia skaitmeninių relinių apsaugų kreivei, kai k reikšmė artėja prie 1.

Tolimesniuose apsaugų derinimuose bus naudojama kintamojo k reikšmė lygi 1.

#### 4.1. Saugiklių derinimas su skaitmeninėmis relėmis

Norint nustatyti su kuria skaitmeninės relinės apsaugos kreive yra panašiausios tiriamųjų saugiklių kreivės, atliekami skaičiavimai paremti mažiausių kvadratų metodu. Tiriamųjų saugiklių charakteristikos pateiktos 2.4.1, 2.5.1 ir 2.6.1 skyriuose.

Pirmiausia atliekamas 2.4.1 skyriuje pateiktų ABB firmos apsaugų derinimas:



4.1.1.pav. ABB OFAF 500V įtampos 400A srovės saugiklio (aM tipo) laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 4.584)^2 + (30 - 4.28)^2 + (4 - 3.297)^2 + (1 - 2.971)^2 + (0.4 - 2.702)^2 + (0.01 - 2.179)^2 \right] = 2.248 \times 10^4$$



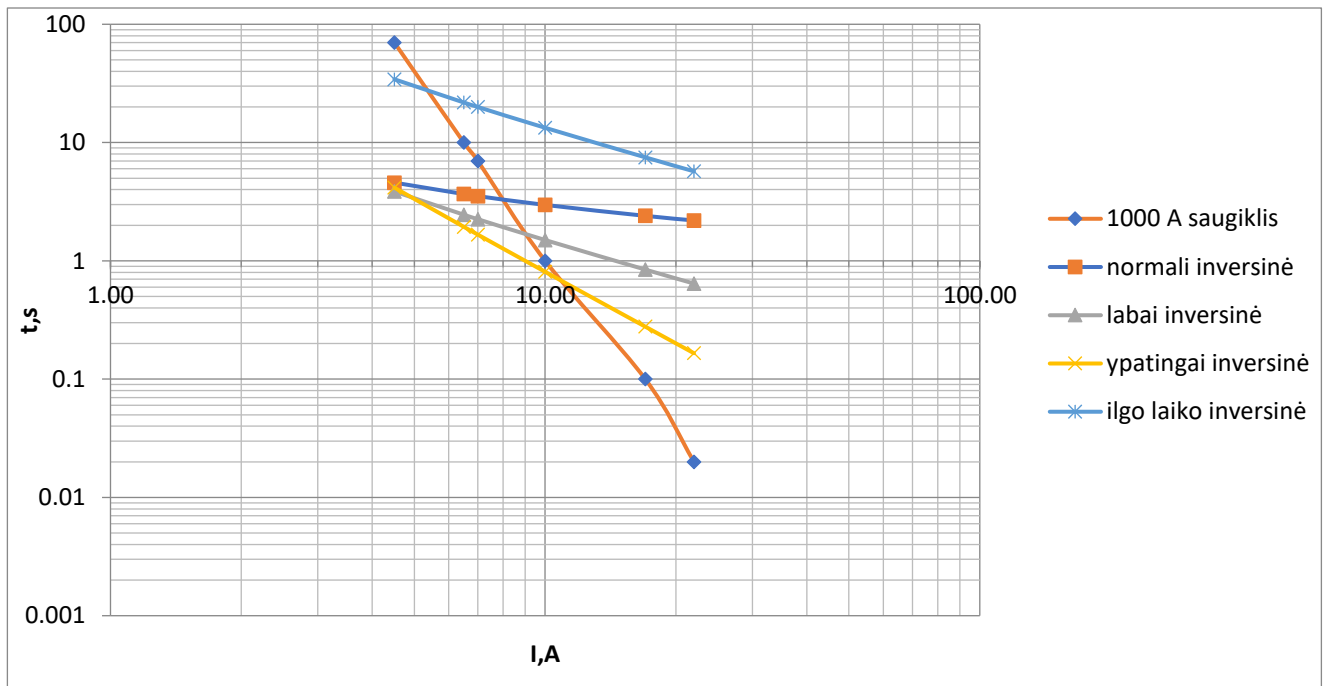
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 3.857)^2 + (30 - 3.375)^2 + (4 - 1.929)^2 + (1 - 1.5)^2 + (0.4 - 1.174)^2 + (0.01 - 0.628)^2 \right] = 2.32 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 4.156)^2 + (30 - 3.333)^2 + (4 - 1.27)^2 + (1 - 0.808)^2 + (0.4 - 0.515)^2 + (0.01 - 0.158)^2 \right] = 2.302 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 34.286)^2 + (30 - 30)^2 + (4 - 17.143)^2 + (1 - 13.333)^2 + (0.4 - 10.435)^2 + (0.01 - 5.581)^2 \right] = 6.707 \times 10^3$$

Skaičiavimai atlikti derinant normaliai inversinę, labai inversinę, ypatingai inversinę bei ilgo laiko inversinę kreivę su ABB gamintojo 400A saugiklio kreive. Kintamas koeficientas k, pasirinktas visoms kreivėms vienodas lygus 1.

Iš skaičiavimų matoma, kad su 400A 500V aM tipo saugikliu geriausiai yra suderinamos ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos, kadangi apskaičiuota reikšmė yra mažiausia.



4.1.2. pav. ABB OFAF 500V įtampos 1000A srovės saugiklio (aM tipo) laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

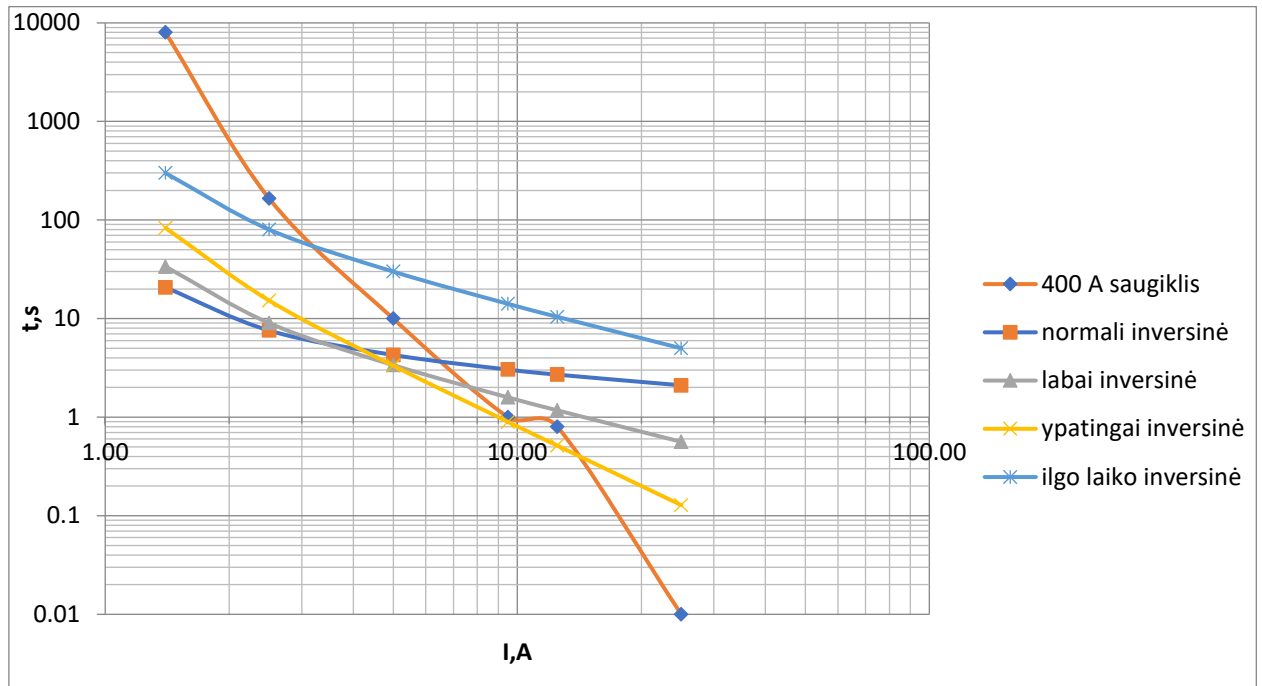
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.02 - 2.195)^2 + (0.1 - 2.401)^2 + (1 - 2.971)^2 + (7 - 3.528)^2 + (10 - 3.670)^2 + (70 - 4.584)^2 \right] = 2.607 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.02 - 0.643)^2 + (0.1 - 0.844)^2 + (1 - 1.5)^2 + (7 - 2.25)^2 + (10 - 2.455)^2 + (70 - 3.857)^2 \right] = 2.673 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.02 - 0.166)^2 + (0.1 - 0.278)^2 + (1 - 0.808)^2 + (7 - 1.667)^2 + (10 - 1.939)^2 + (70 - 4.156)^2 \right] = 2.657 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.02 - 5.714)^2 + (0.1 - 7.50)^2 + (1 - 13.333)^2 + (7 - 20)^2 + (10 - 21.818)^2 + (70 - 34.286)^2 \right] = 1.094 \times 10^4$$

Skaičiavimai atlikti analogiškai kaip ir 400A saugikliui. Iš skaičiavimų matoma, kad su 1000A 500V aM tipo saugikliu geriausiai yra suderinamos taip pat ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.



4.1.3. pav. ABB OFAF\_H\_ 500V įtampos 400A srovės saugiklio (aG tipo) laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

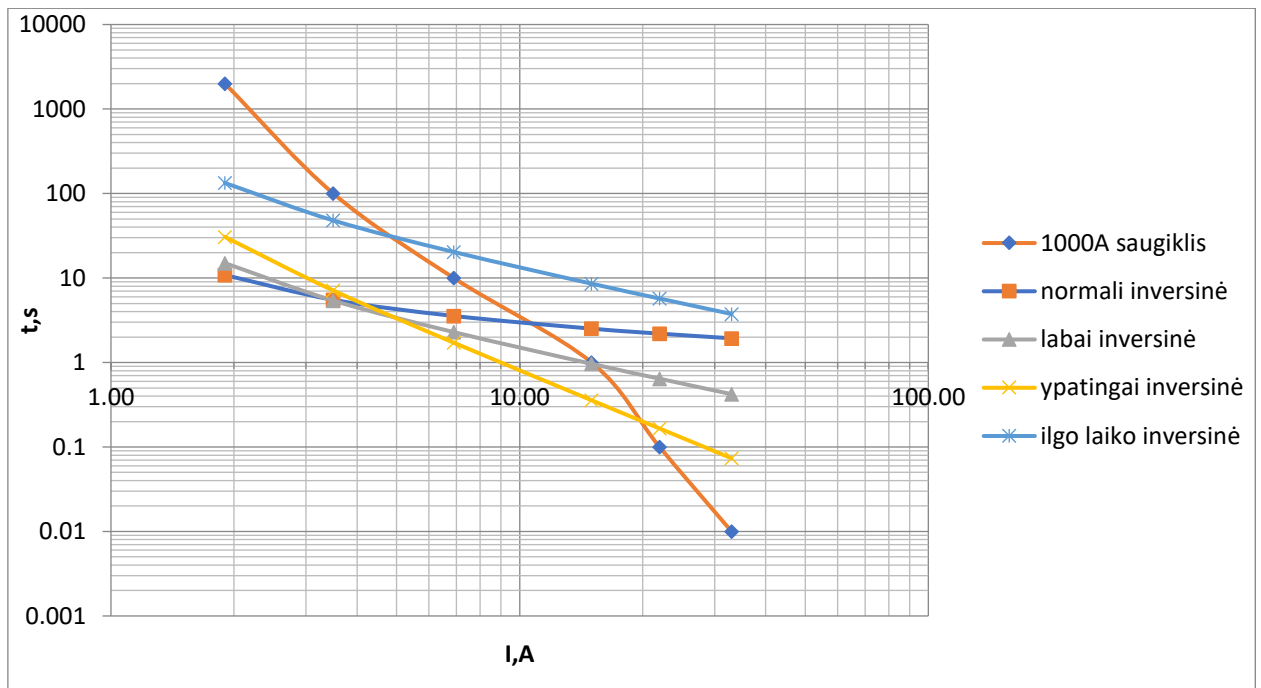
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.01 - 2.105)^2 + (0.8 - 2.702)^2 + (1 - 3.040)^2 + (10 - 4.28)^2 + (165 - 7.570)^2 + (8000 - 20.734)^2 \right] = 3.822 \times 10^8$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.01 - 0.563)^2 + (0.8 - 1.174)^2 + (1 - 1.588)^2 + (10 - 3.375)^2 + (165 - 9)^2 + (8000 - 33.75)^2 \right] = 3.809 \times 10^8$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.01 - 0.128)^2 + (0.8 - 0.515)^2 + (1 - 0.896)^2 + (10 - 3.333)^2 + (165 - 15.238)^2 + (8000 - 83.333)^2 \right] = 3.762 \times 10^8$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.01 - 5)^2 + (0.8 - 10.435)^2 + (1 - 14.118)^2 + (10 - 30)^2 + (165 - 80)^2 + (8000 - 300)^2 \right] = 3.558 \times 10^8$$

Iš skaičiavimų matoma, kad su 400A 500V aG tipo saugikliu, kaip ir su aukščiau pateiktais aM tipo saugikliais, geriausiai yra suderinamos ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.



4.1.4. pav. ABB OFAF\_H\_ 500V įtampos 1000A srovės saugiklio (aG tipo) laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.01 - 1.933)^2 + (0.1 - 2.195)^2 + (1 - 2.516)^2 + (10 - 3.555)^2 + (100 - 5.518)^2 + (2000 - 10.836)^2 \right] = 2.379 \times 10^7$$

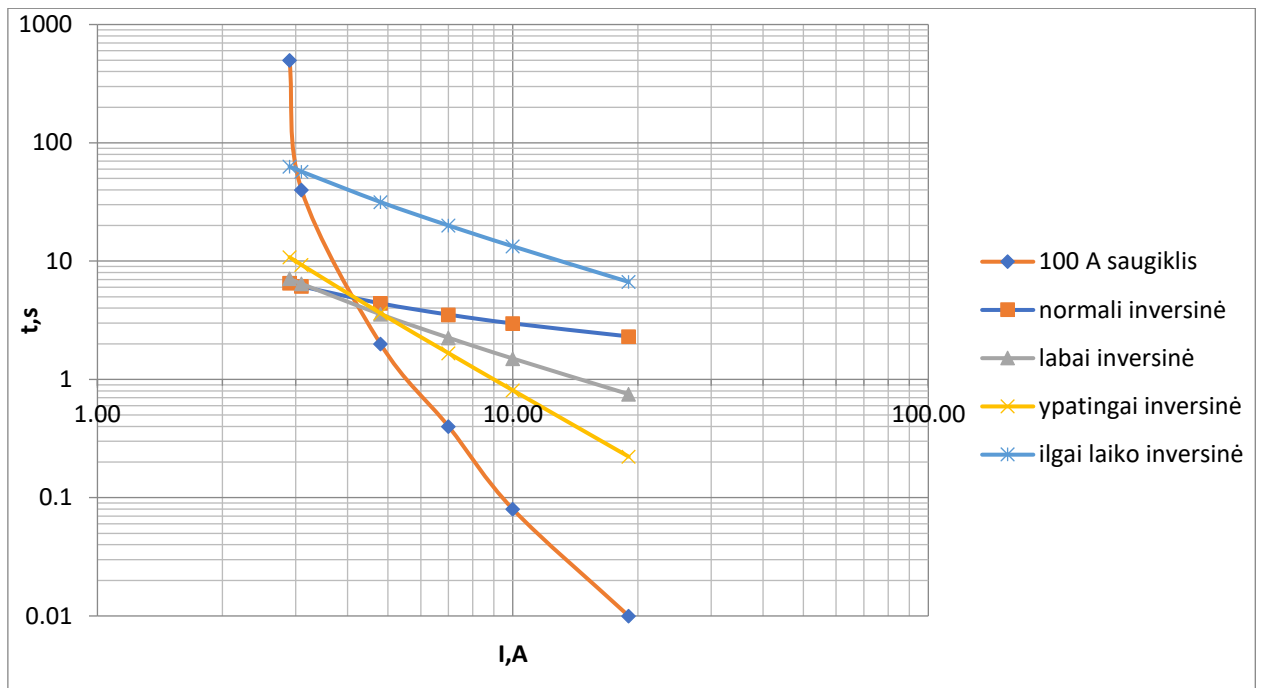
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.01 - 0.422)^2 + (0.1 - 0.643)^2 + (1 - 0.964)^2 + (10 - 2.288)^2 + (100 - 5.4)^2 + (2000 - 15)^2 \right] = 2.37 \times 10^7$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.01 - 0.074)^2 + (0.1 - 0.166)^2 + (1 - 0.357)^2 + (10 - 1.716)^2 + (100 - 7.111)^2 + (2000 - 30.651)^2 \right] = 2.332 \times 10^7$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (0.01 - 3.75)^2 + (0.1 - 5.714)^2 + (1 - 8.571)^2 + (10 - 20.339)^2 + (100 - 48)^2 + (2000 - 133.333)^2 \right] = 2.092 \times 10^7$$

Atlikus skaičiavimus matoma, kad su 1000A aG tipo ABB saugikliu geriausiai suderinamos yra ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.

Toliau tiriami 2.4.2 skyriuje pateikti Shneider electric firmos apsaugos aparatai.



4.1.5. pav. Schneider electric „Fusarc CF“ 3 – 36 kV įtampos 100A srovės saugiklio laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

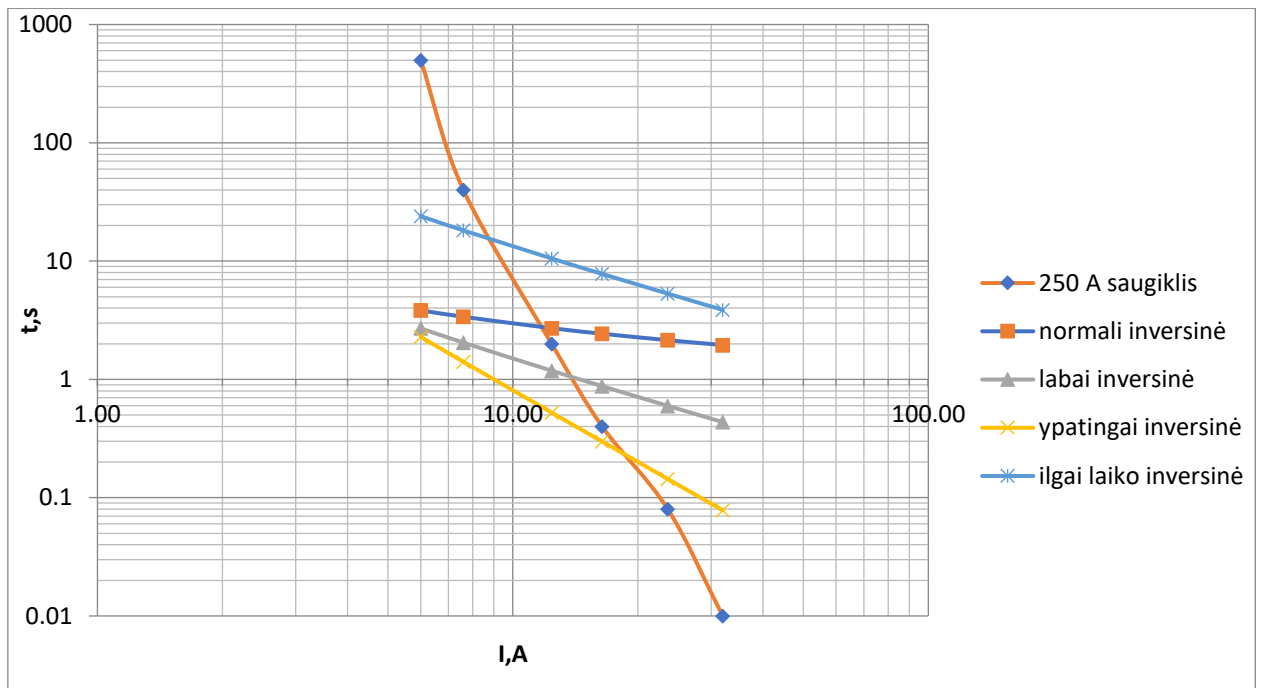
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (500 - 6.505)^2 + (40 - 6.117)^2 + (2 - 4.393)^2 + (0.4 - 3.528)^2 + (0.08 - 2.971)^2 + (0.01 - 2.308)^2 \right] = 1.468 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (500 - 7.105)^2 + (40 - 6.429)^2 + (2 - 3.553)^2 + (0.4 - 2.250)^2 + (0.08 - 1.5)^2 + (0.01 - 0.750)^2 \right] = 1.464 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (500 - 10.796)^2 + (40 - 9.292)^2 + (2 - 3.630)^2 + (0.4 - 1.667)^2 + (0.08 - 0.808)^2 + (0.01 - 0.222)^2 \right] = 1.442 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (500 - 63.158)^2 + (40 - 57.143)^2 + (2 - 31.579)^2 + (0.4 - 20)^2 + (0.08 - 13.333)^2 + (0.01 - 6.667)^2 \right] = 1.156 \times 10^6$$

Atlikus skaičiavimus matoma, kad su 100A Schneider electric Fulsar CF saugikliu geriausiai suderinamos yra ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.



4.1.6. pav. Schneider electric „Fusarc CF“ 3 – 36 kV įtampos 250A srovės saugiklio laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

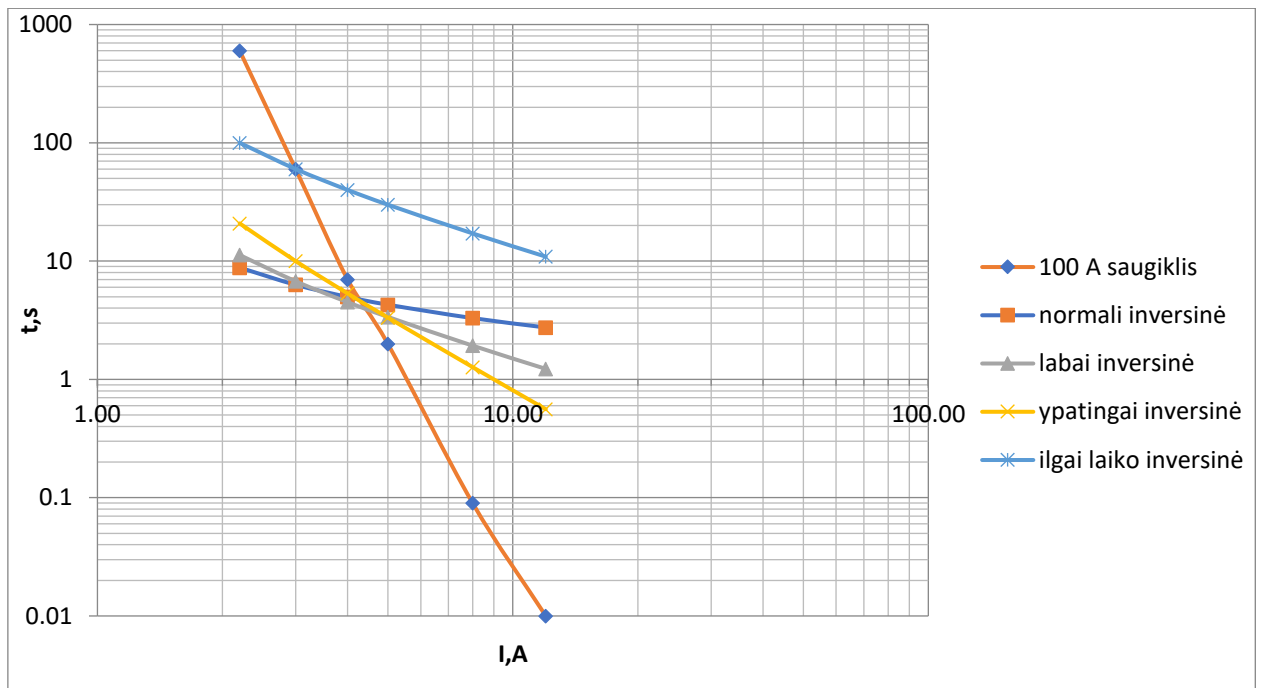
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (500 - 3.837)^2 + (40 - 3.382)^2 + (2 - 2.711)^2 + (0.4 - 2.433)^2 + (0.08 - 2.145)^2 + (0.01 - 1.951)^2 \right] = 1.485 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (500 - 2.7)^2 + (40 - 2.045)^2 + (2 - 1.184)^2 + (0.4 - 0.877)^2 + (0.08 - 0.597)^2 + (0.01 - 0.435)^2 \right] = 1.492 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (500 - 2.286)^2 + (40 - 1.409)^2 + (2 - 0.524)^2 + (0.4 - 0.299)^2 + (0.08 - 0.144)^2 + (0.01 - 0.078)^2 \right] = 1.495 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (500 - 24)^2 + (40 - 18.182)^2 + (2 - 10.526)^2 + (0.4 - 7.792)^2 + (0.08 - 5.310)^2 + (0.01 - 3.871)^2 \right] = 1.363 \times 10^6$$

Iš gautų skaičiavimų duomenų matoma, kad su 250A Schneider electric Fulsar CF saugikliu geriausiai suderinamos yra ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.



4.1.7. pav. Schneider electric „MGK“ 7,2 kV įtampos 100A srovės saugiklio laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

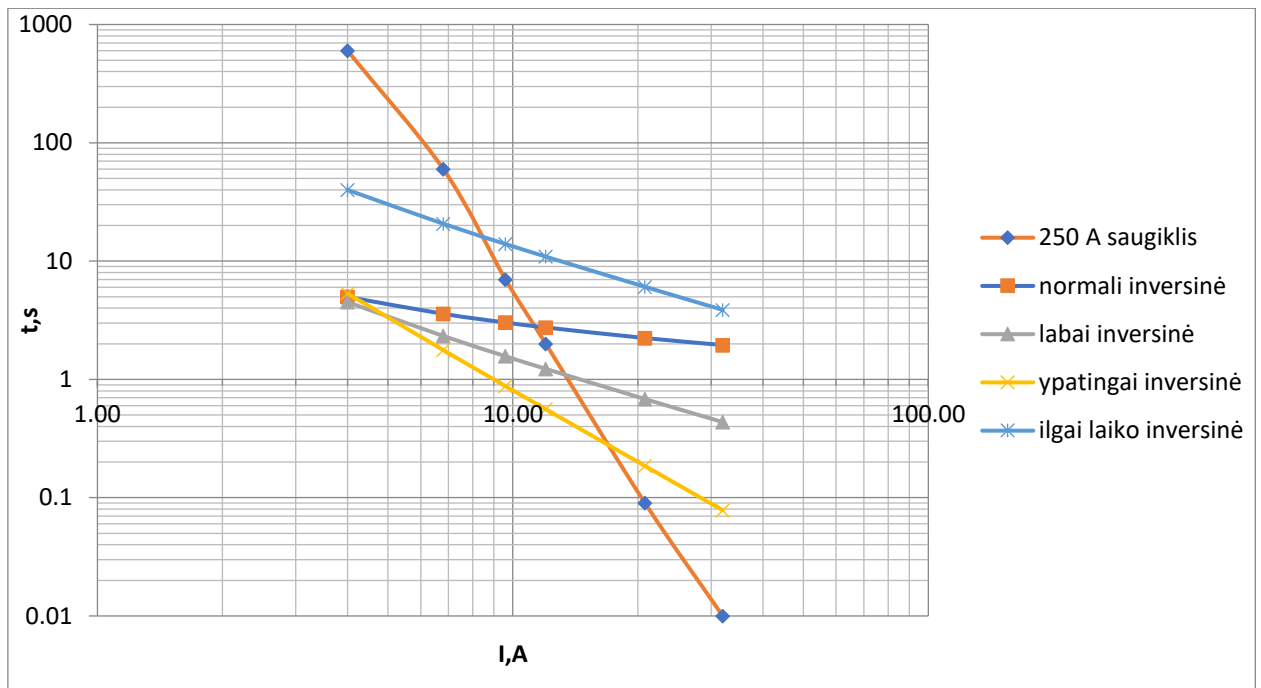
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (600 - 8.808)^2 + (60 - 6.302)^2 + (7 - 4.980)^2 + (2 - 4.280)^2 + (0.09 - 3.297)^2 + (0.01 - 2.748)^2 \right] = 2.115 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (600 - 11.250)^2 + (60 - 6.750)^2 + (7 - 4.5)^2 + (2 - 3.375)^2 + (0.09 - 1.929)^2 + (0.01 - 1.227)^2 \right] = 2.097 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (600 - 20.833)^2 + (60 - 10)^2 + (7 - 5.333)^2 + (2 - 3.333)^2 + (0.09 - 1.270)^2 + (0.01 - 0.559)^2 \right] = 2.028 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (600 - 100)^2 + (60 - 60)^2 + (7 - 40)^2 + (2 - 30)^2 + (0.09 - 17.143)^2 + (0.01 - 10.909)^2 \right] = 1.514 \times 10^6$$

Atlikus skaičiavimus matoma, kad su 100A Schneider electric MGK saugikliu geriausiai suderinamos yra ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.



4.1.8. pav. Schneider electric „MGK“ 7,2 kV įtampos 250A srovės saugiklio laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (600 - 4.980)^2 + (60 - 3.582)^2 + (7 - 3.025)^2 + (2 - 2.748)^2 + (0.09 - 2.237)^2 + (0.01 - 1.951)^2 \right] = 2.144 \times 10^6$$

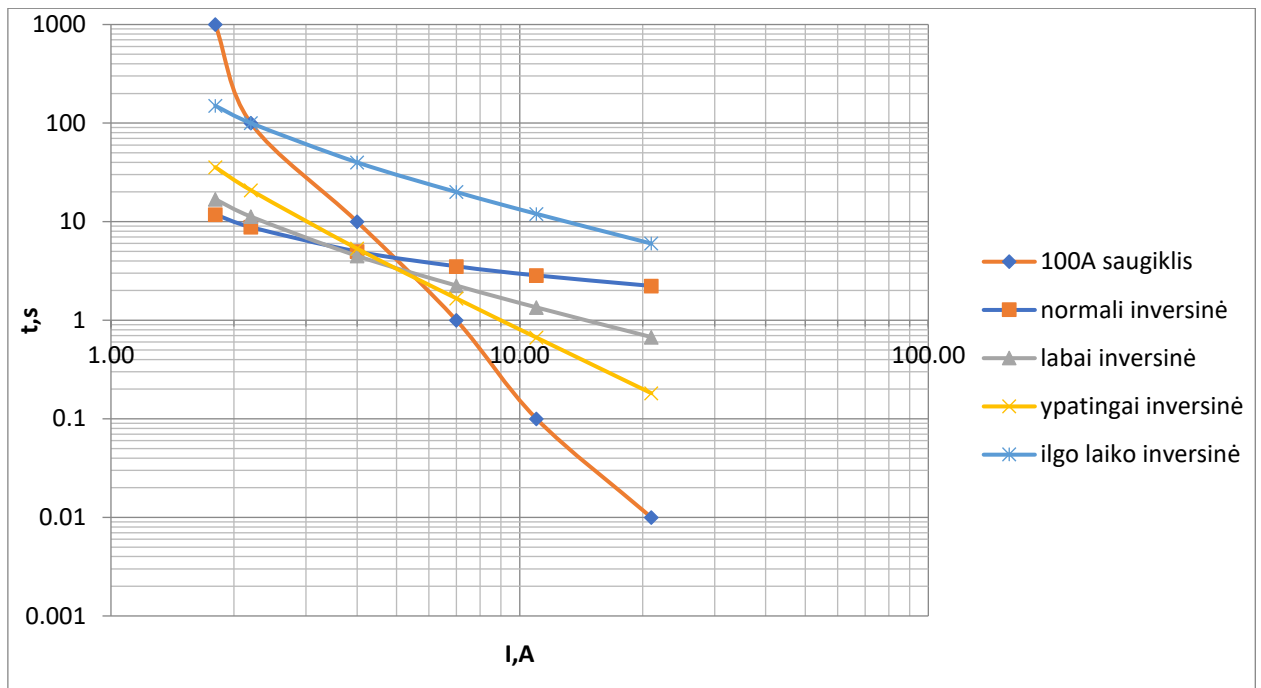
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (600 - 4.500)^2 + (60 - 2.328)^2 + (7 - 1.570)^2 + (2 - 1.227)^2 + (0.09 - 0.682)^2 + (0.01 - 0.435)^2 \right] = 2.148 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (600 - 5.333)^2 + (60 - 1.768)^2 + (7 - 0.878)^2 + (2 - 0.559)^2 + (0.09 - 0.185)^2 + (0.01 - 0.078)^2 \right] = 2.142 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (600 - 40)^2 + (60 - 20.690)^2 + (7 - 13.953)^2 + (2 - 10.909)^2 + (0.09 - 6.061)^2 + (0.01 - 3.871)^2 \right] = 1.892 \times 10^6$$

Atlikus skaičiavimus matoma, kad su 250A Schneider electric MGK saugikliu geriausiai suderinamos yra taip pat ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.

Sekantys tyrimo objektai yra Siemens saugikliai.



4.1.9. pav. Siemens 3NA3 1 serijos 500V įtampos 100A srovės saugiklio (gG tipo) laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1000 - 11.839)^2 + (100 - 8.808)^2 + (10 - 4.98)^2 + (1 - 3.528)^2 + (0.1 - 2.850)^2 + (0.01 - 2.230)^2 \right] = 5.909 \times 10^6$$

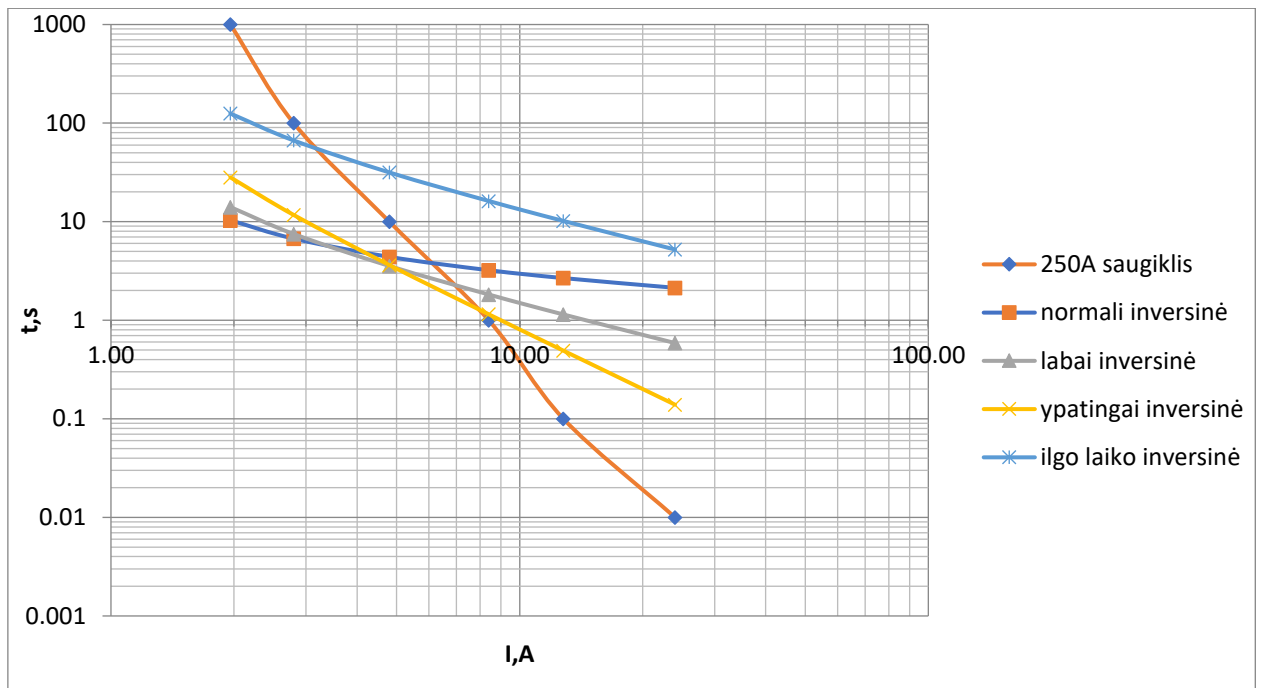
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1000 - 16.875)^2 + (100 - 11.250)^2 + (10 - 4.5)^2 + (1 - 2.25)^2 + (0.1 - 1.35)^2 + (0.01 - 0.675)^2 \right] = 5.847 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1000 - 35.714)^2 + (100 - 20.833)^2 + (10 - 5.333)^2 + (1 - 1.667)^2 + (0.1 - 0.677)^2 + (0.01 - 0.182)^2 \right] = 5.617 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1000 - 150)^2 + (100 - 100)^2 + (10 - 40)^2 + (1 - 20)^2 + (0.1 - 12)^2 + (0.01 - 6)^2 \right] = 4.344 \times 10^6$$

Iš atliktų skaičiavimų matoma, kad su 100A gG tipo SIEMENS saugikliu geriausiai suderinamos yra ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.





4.1.10. pav. Siemens 3NA3 1 serijos 500V įtampos 250A srovės saugiklio (gG tipo) laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

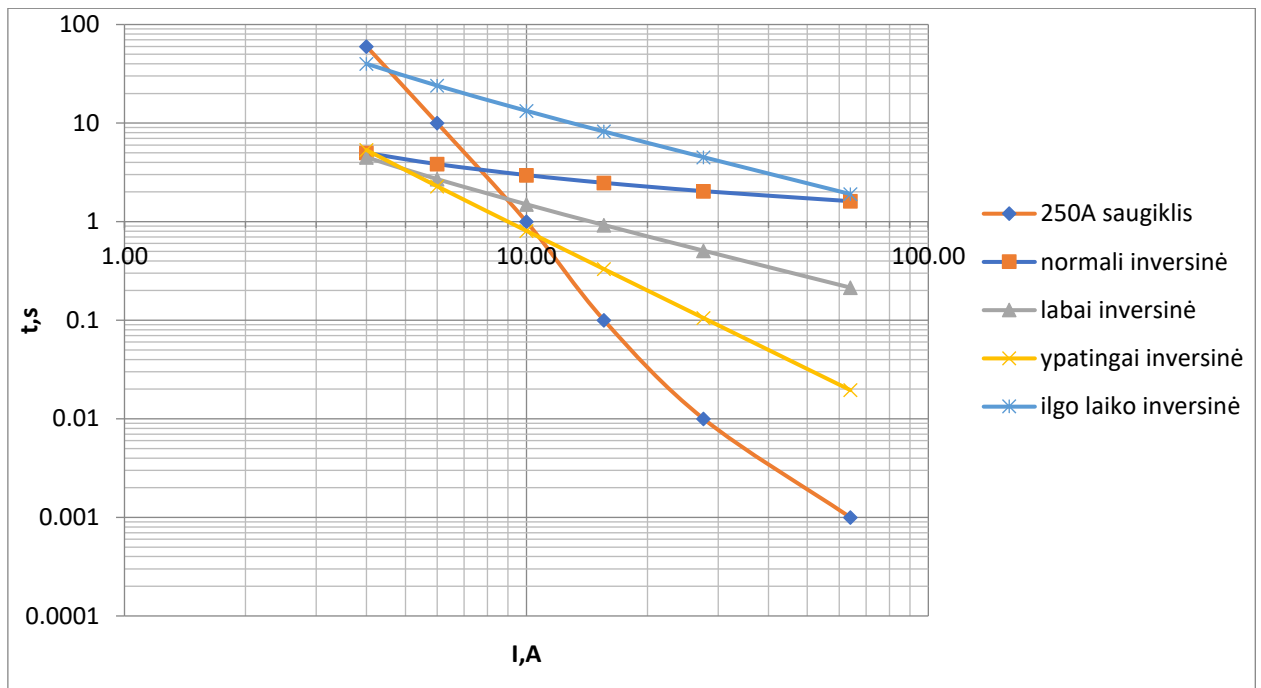
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1000 - 10.332)^2 + (100 - 6.729)^2 + (10 - 4.393)^2 + (1 - 3.220)^2 + (0.1 - 2.676)^2 + (0.01 - 2.133)^2 \right] = 5.929 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1000 - 14.063)^2 + (100 - 7.5)^2 + (10 - 3.553)^2 + (1 - 1.824)^2 + (0.1 - 1.144)^2 + (0.01 - 0.587)^2 \right] = 5.884 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1000 - 28.153)^2 + (100 - 11.696)^2 + (10 - 3.630)^2 + (1 - 1.150)^2 + (0.1 - 0.491)^2 + (0.01 - 0.139)^2 \right] = 5.714 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1000 - 125)^2 + (100 - 66.667)^2 + (10 - 31.579)^2 + (1 - 16.216)^2 + (0.1 - 10.169)^2 + (0.01 - 5.217)^2 \right] = 4.605 \times 10^6$$

Iš gautų skaičiavimų matoma, kad su 250A gG tipo SIEMENS saugikliu geriausiai suderinamos yra ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.



4.1.11. pav. Siemens 3ND1 3 serijos 690V įtampos 250A srovės saugiklio (aM tipo) laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

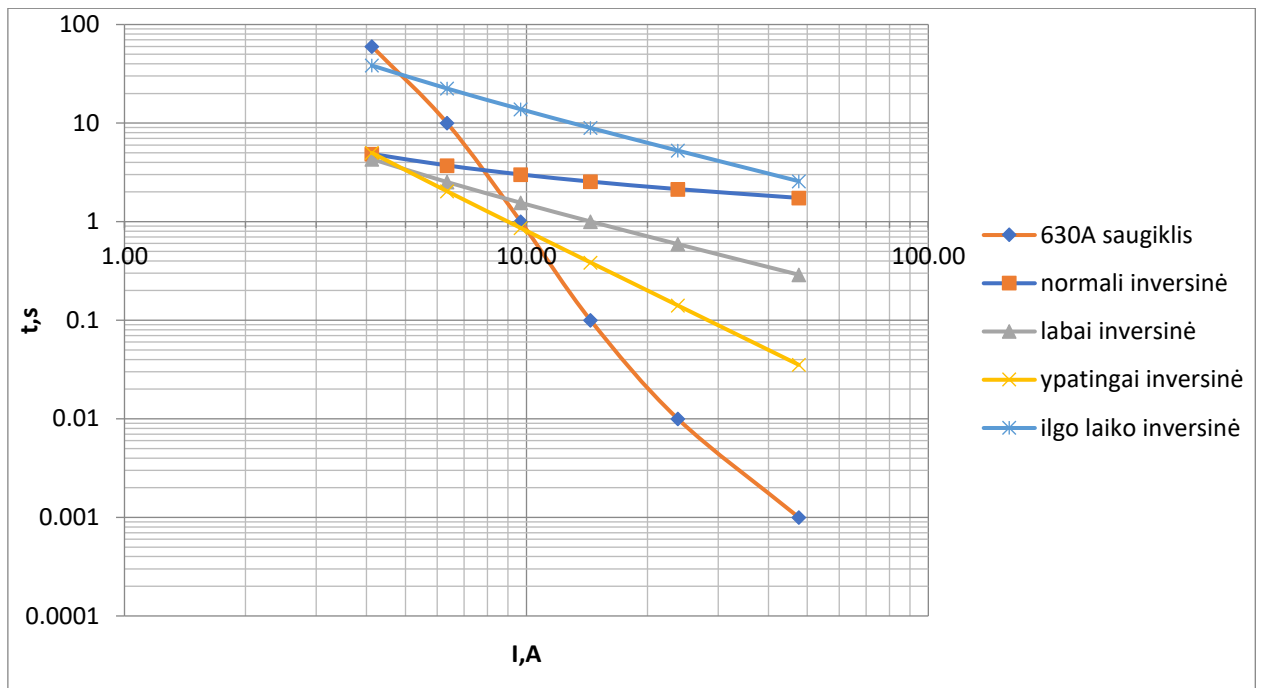
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 4.980)^2 + (10 - 3.837)^2 + (1 - 2.971)^2 + (0.1 - 2.479)^2 + (0.01 - 2.041)^2 + (0.001 - 1.614)^2 \right] = 1.849 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 4.5)^2 + (10 - 2.7)^2 + (1 - 1.5)^2 + (0.1 - 0.925)^2 + (0.01 - 0.508)^2 + (0.001 - 0.214)^2 \right] = 1.881 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 5.333)^2 + (10 - 2.286)^2 + (1 - 0.808)^2 + (0.1 - 0.330)^2 + (0.01 - 0.105)^2 + (0.001 - 0.020)^2 \right] = 1.829 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 40)^2 + (10 - 24)^2 + (1 - 13.333)^2 + (0.1 - 8.219)^2 + (0.01 - 4.511)^2 + (0.001 - 1.905)^2 \right] = 5.027 \times 10^3$$

Atlikus skaičiavimus matoma, kad su 250A aM tipo SIEMENS saugikliu geriausiai suderinamos yra ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.



4.1.12. pav. Siemens 3ND1 3 serijos 690V įtampos 630A srovės saugiklio (aM tipo) laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 4.868)^2 + (10 - 3.718)^2 + (1 - 3.014)^2 + (0.1 - 2.552)^2 + (0.01 - 2.139)^2 + (0.001 - 1.743)^2 \right] = 1.858 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 4.317)^2 + (10 - 2.524)^2 + (1 - 1.555)^2 + (0.1 - 1.004)^2 + (0.01 - 0.592)^2 + (0.001 - 0.290)^2 \right] = 1.895 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 4.990)^2 + (10 - 2.035)^2 + (1 - 0.863)^2 + (0.1 - 0.385)^2 + (0.01 - 0.141)^2 + (0.001 - 0.035)^2 \right] = 1.854 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (60 - 38.376)^2 + (10 - 22.433)^2 + (1 - 13.821)^2 + (0.1 - 8.926)^2 + (0.01 - 5.261)^2 + (0.001 - 2.574)^2 \right] = 5.392 \times 10^3$$

Atlikus skaičiavimus matoma, kad ir su 630A aM tipo SIEMENS saugikliu geriausiai suderinamos yra ilgo laiko inversinės skaitmeninės relinės apsaugos.

## 4.2. Automatinių jungiklių derinimas su skaitmeninėmis relėmis

Automatiniai jungikliai derinami su skaitmeninių relinių apsaugų laiko ir srovės charakteristikomis, kurių tipai tokie kaip ir 4.1 punkte naudotų, t.y. normali inversinė, labai inversinė, ypatingai inversinė, ilgo laiko inversinė. K reikšmė, kaip derinant skaitmenines reles su saugikliais, nėra nustatoma viena ir nekeičiama, o naudojamos trys: 0,05, 0,5 ir 1. Skaičiavimų eilutės pateikiamos analogiškai aukščiau išvardintiems skaitmeninių relinių apsaugų charakteristikų tipams.

Pirmiausia tiriama ABB firmos 2.4.2 punkte pateikiamo automatinio jungiklio suderinamumas.

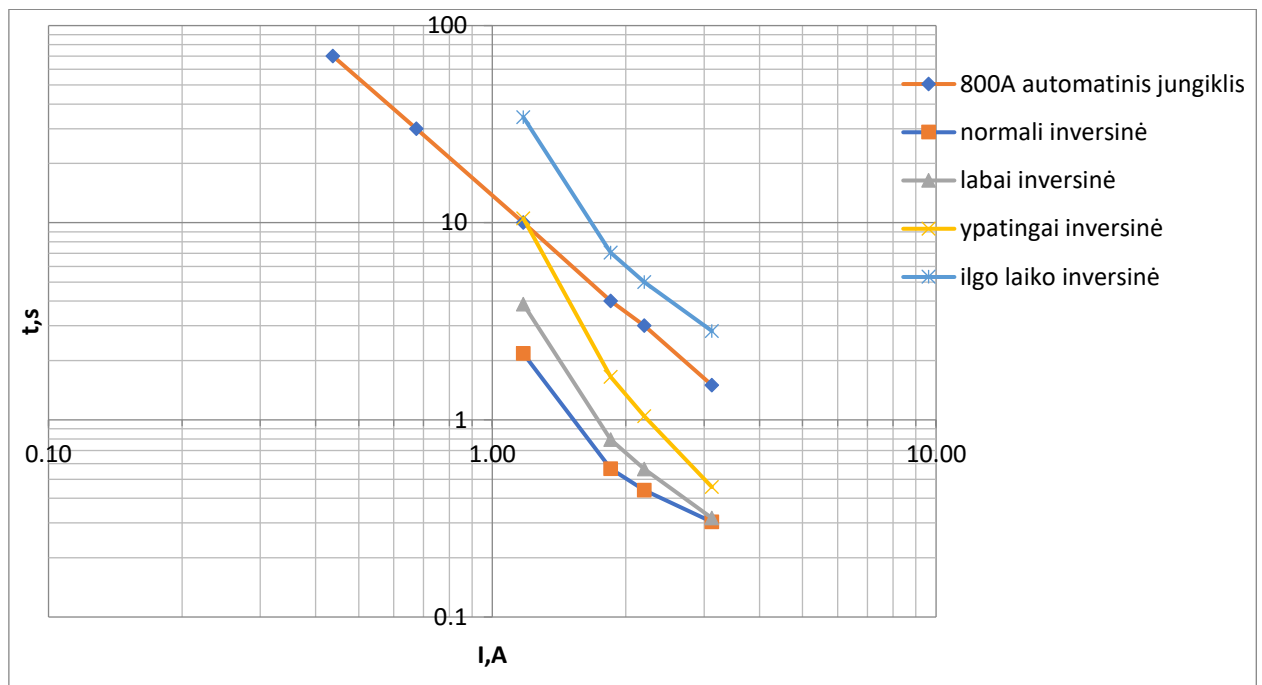
Kai  $k=0.05$  gaunami tokie rezultatai:

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 0.427)^2 + (30 + 0.894)^2 + (10 - 2.167)^2 + (4 - 0.565)^2 + (3 - 0.440)^2 + (1.5 - 0.304)^2 \right] = 3.597 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 1.200)^2 + (30 + 2.077)^2 + (10 - 3.857)^2 + (4 - 0.794)^2 + (3 - 0.563)^2 + (1.5 - 0.318)^2 \right] = 3.692 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 4.947)^2 + (30 + 7.348)^2 + (10 - 10.509)^2 + (4 - 1.651)^2 + (3 - 1.042)^2 + (1.5 - 0.456)^2 \right] = 4.214 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 10.667)^2 + (30 + 18.462)^2 + (10 - 34.286)^2 + (4 - 7.059)^2 + (3 - 5)^2 + (1.5 - 2.824)^2 \right] = 5.676 \times 10^4$$



4.2.1. pav. ABB Emax 800A automatinio jungiklio laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis, kai  $k=0.05$

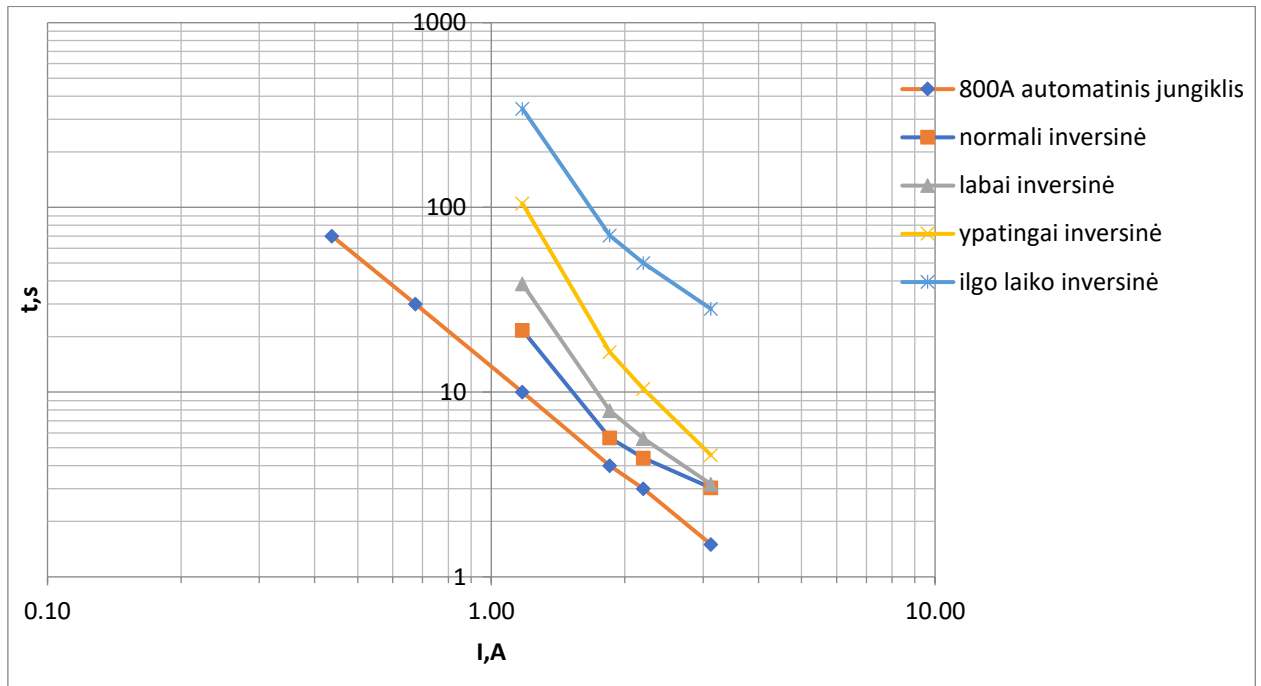
Kai  $k=0.5$  gaunami tokie rezultatai:

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 4.269)^2 + (30 + 8.940)^2 + (10 - 21.668)^2 + (4 - 5.654)^2 + (3 - 4.404)^2 + (1.5 - 3.037)^2 \right] = 4.305 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 12)^2 + (30 + 20.769)^2 + (10 - 38.571)^2 + (4 - 7.941)^2 + (3 - 5.625)^2 + (1.5 - 3.176)^2 \right] = 6.086 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 49.469)^2 + (30 + 73.479)^2 + (10 - 105.090)^2 + (4 - 16.512)^2 + (3 - 10.417)^2 + (1.5 - 4.563)^2 \right] = 2.055 \times 10^5$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 106.667)^2 + (30 + 184.615)^2 + (10 - 342.857)^2 + (4 - 70.588)^2 + (3 - 50)^2 + (1.5 - 28.235)^2 \right] = 1.173 \times 10^6$$



4.2.2. pav. ABB Emax 800A automatinio jungiklio laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis, kai  $k=0.5$

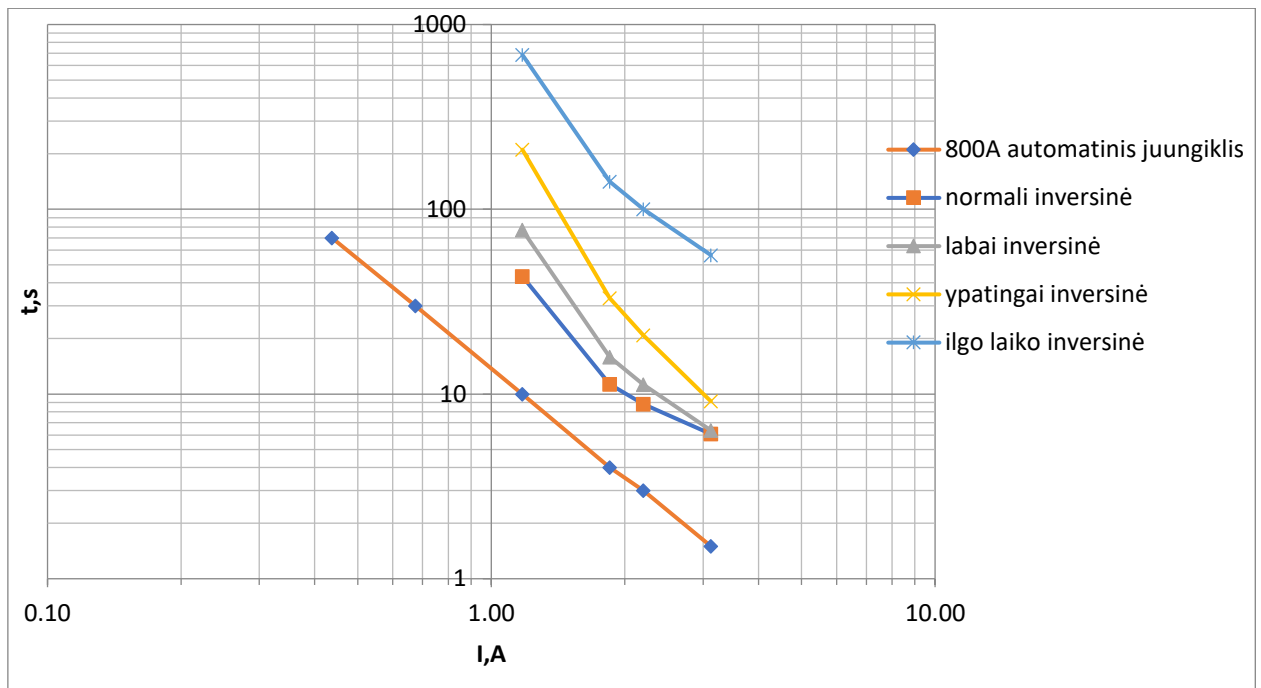
Kai  $k=1$  gaunami tokie rezultatai:

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 8.538)^2 + (30 + 17.880)^2 + (10 - 43.336)^2 + (4 - 11.309)^2 + (3 - 8.808)^2 + (1.5 - 6.074)^2 \right] = 5.808 \times 10^4$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 24)^2 + (30 + 41.538)^2 + (10 - 77.143)^2 + (4 - 15.882)^2 + (3 - 11.250)^2 + (1.5 - 6.353)^2 \right] = 1.122 \times 10^5$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 98.937)^2 + (30 + 146.958)^2 + (10 - 210.181)^2 + (4 - 33.024)^2 + (3 - 20.833)^2 + (1.5 - 9.127)^2 \right] = 6.069 \times 10^5$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (70 + 213.333)^2 + (30 + 369.231)^2 + (10 - 685.714)^2 + (4 - 141.176)^2 + (3 - 100)^2 + (1.5 - 56.471)^2 \right] = 4.365 \times 10^6$$



4.2.3. pav. ABB Emax 800A automatinio jungiklio laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis, kai  $k=1$

Analizuojant skaičiavimo rezultatus matoma, kad ABB Emax automatinis jungiklis geriausiai suderinamas su normalia inversine skaitmenine reline apsauga, kai  $k$  koeficientas lygus 0,05.

Sekantys skaičiavimai atliekami su Schneider electric 2.5.2 punkte pateiktu automatinio jungikliu.

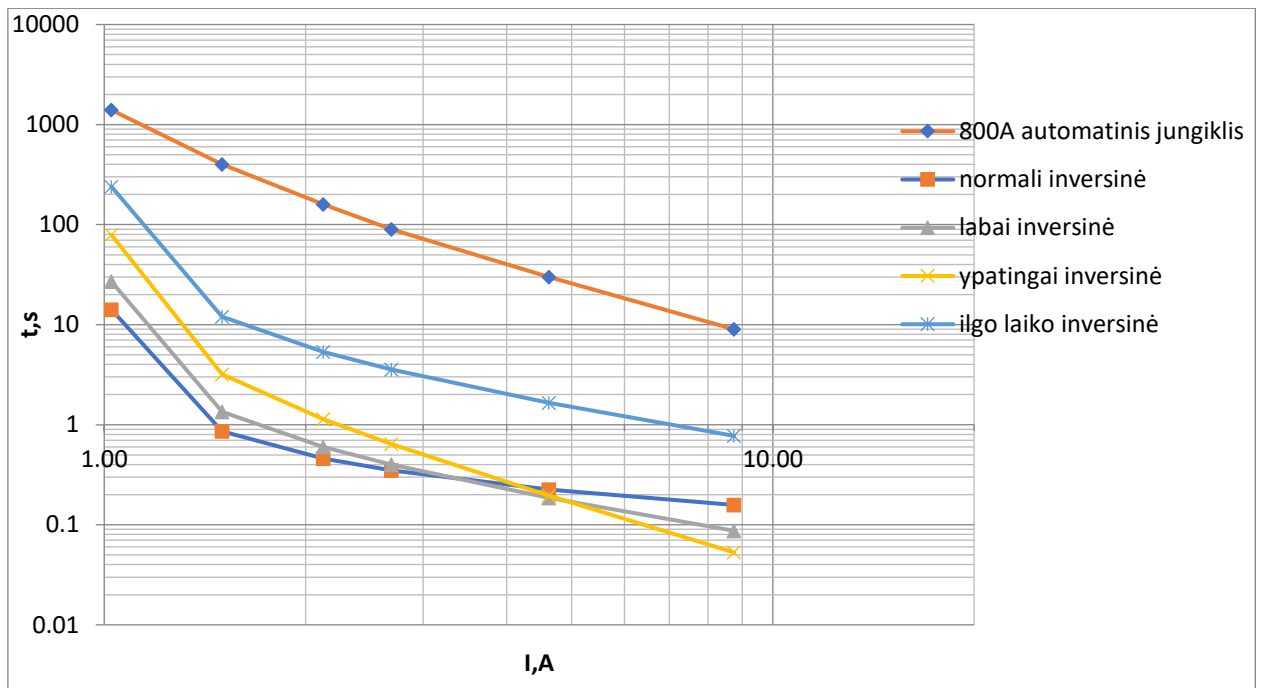
Kai  $k=0.05$  gaunami tokie rezultatai:

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1400 - 14.171)^2 + (400 - 0.860)^2 + (160 - 0.461)^2 + (90 - 0.351)^2 + (30 - 0.225)^2 + (9 - 0.158)^2 \right] = 1.269 \times 10^7$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1400 - 27)^2 + (400 - 1.350)^2 + (160 - 0.6)^2 + (90 - 0.4)^2 + (30 - 0.186)^2 + (9 - 0.087)^2 \right] = 1.247 \times 10^7$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1400 - 79.012)^2 + (400 - 3.2)^2 + (160 - 1.138)^2 + (90 - 0.643)^2 + (30 - 0.196)^2 + (9 - 0.053)^2 \right] = 1.162 \times 10^7$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1400 - 240)^2 + (400 - 12)^2 + (160 - 5.333)^2 + (90 - 3.556)^2 + (30 - 1.655)^2 + (9 - 0.774)^2 \right] = 9.17 \times 10^6$$



4.2.4. pav. Schneider electric NS800H 800A automatinio jungiklio laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis, kai  $k=0.05$

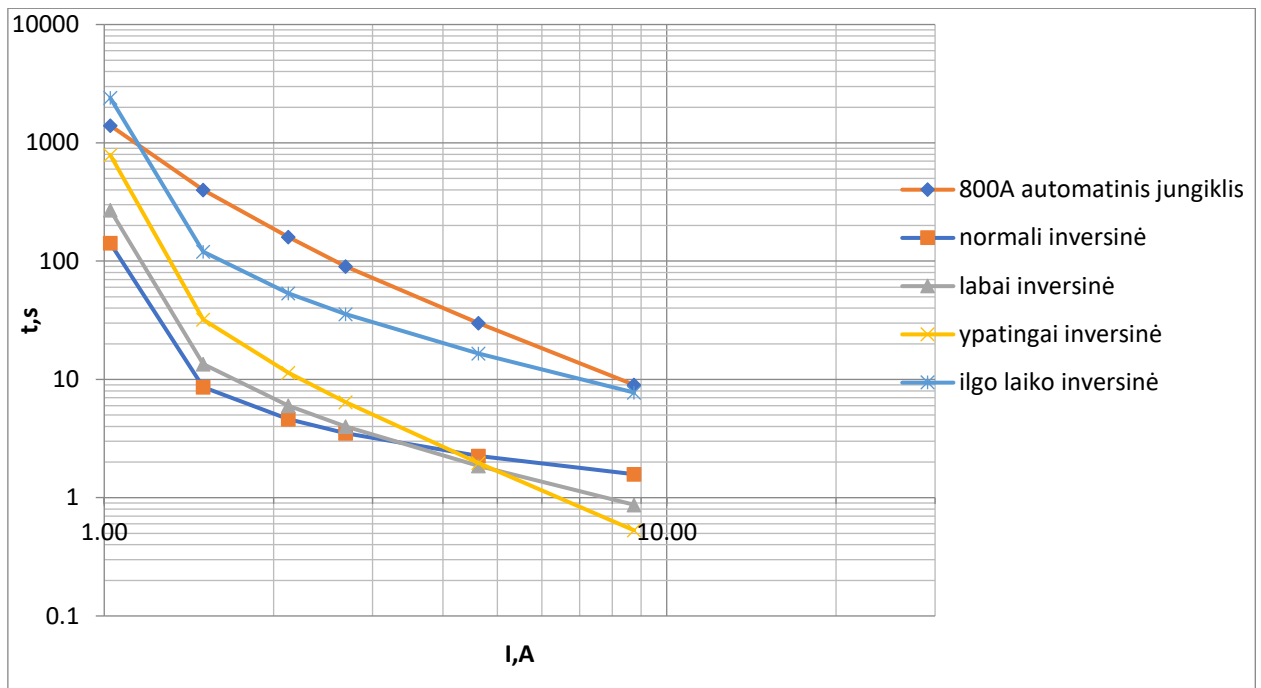
Kai  $k=0.5$  gaunami tokie rezultatai:

$$\sum_{i=1}^6 [(1400 - 141.708)^2 + (400 - 8.597)^2 + (160 - 4.608)^2 + (90 - 3.505)^2 + (30 - 2.251)^2 + (9 - 1.579)^2] = 1.061 \times 10^7$$

$$\sum_{i=1}^6 [(1400 - 270)^2 + (400 - 13.50)^2 + (160 - 6)^2 + (90 - 4)^2 + (30 - 1.862)^2 + (9 - 0.871)^2] = 8.75 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 [(1400 - 790.123)^2 + (400 - 32)^2 + (160 - 11.378)^2 + (90 - 6.428)^2 + (30 - 1.962)^2 + (9 - 0.529)^2] = 3.224 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 [(1400 - 2400)^2 + (400 - 120)^2 + (160 - 53.333)^2 + (90 - 35.556)^2 + (30 - 16.552)^2 + (9 - 7.742)^2] = 6.558 \times 10^6$$



4.2.5. pav. Schneider electric NS800H 800A automatinio jungiklio laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis, kai  $k=0.5$

Kai  $k=1$  gaunami tokie rezultatai:

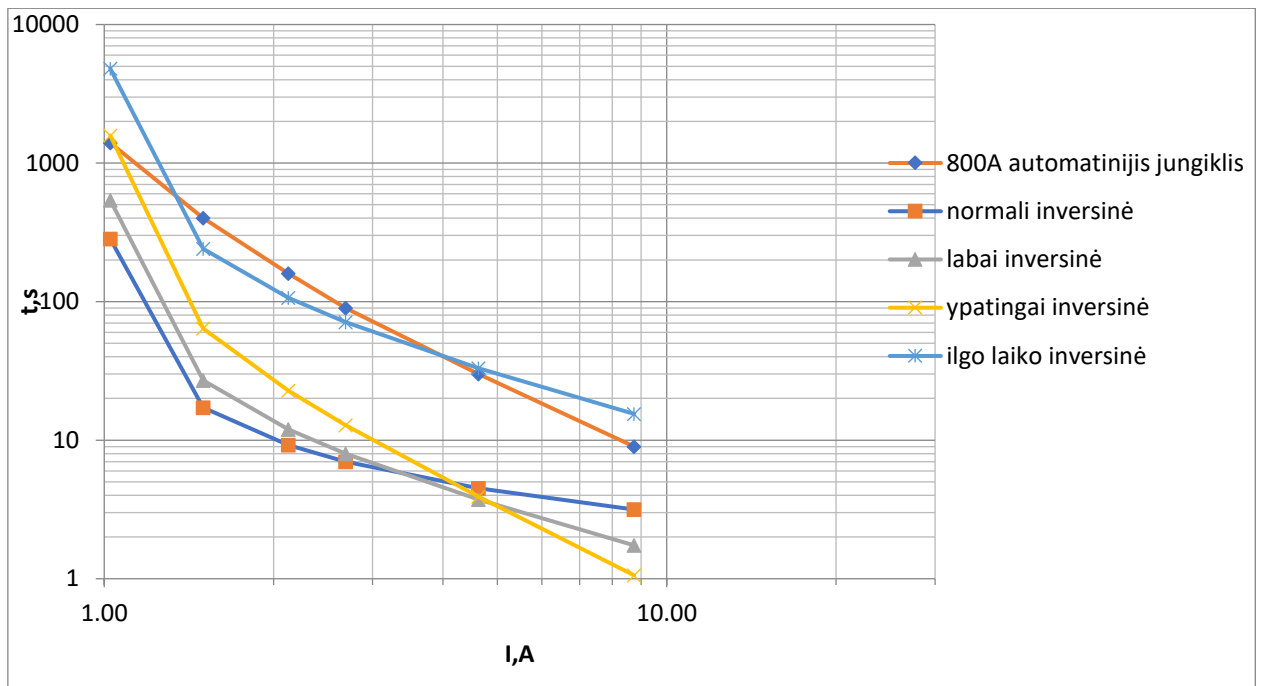
$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1400 - 283.416)^2 + (400 - 17.194)^2 + (160 - 9.217)^2 + (90 - 7.011)^2 + (30 - 4.501)^2 + (9 - 3.158)^2 \right] = 8.542 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1400 - 540)^2 + (400 - 27)^2 + (160 - 12)^2 + (90 - 8)^2 + (30 - 3.724)^2 + (9 - 1.742)^2 \right] = 5.449 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1400 - 1580.247)^2 + (400 - 64)^2 + (160 - 22.756)^2 + (90 - 12.856)^2 + (30 - 3.923)^2 + (9 - 1.059)^2 \right] = 1.025 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^6 \left[ (1400 - 4800)^2 + (400 - 240)^2 + (160 - 106.667)^2 + (90 - 71.111)^2 + (30 - 33.103)^2 + (9 - 15.484)^2 \right] = 6.953 \times 10^7$$





4.2.6. pav. Schneider electric NS800H 800A automatinio jungiklio laiko ir srovės charakteristikos derinimas su skaitmeninėmis relėmis, kai  $k=1$

Atlikus skaičiavimus, gauti rezultatai rodo, kad Schneider electric NS800H automatinis jungiklis geriausiai suderinamas su ypatingai inversinėmis skaitmeninėmis relinėmis apsaugomis, kai  $k$  koeficientas lygus 1.

4.1. lentelė. Tyrimo rezultatų suvestinė

Eil. nr.	Apsaugos aparatas	Skaitmeninių relinių apsaugų charakteristikos tipas			
		Normali inversinė	Labai inversinė	Ypatingai inversinė	Ilgo laiko inversinė
1.	ABB saugiklis OFAF 500V, 400A				+
2.	ABB saugiklis OFAF 500V, 1000A				+
3.	ABB saugiklis OFAF_H_ 500V, 400A				+
4.	ABB saugiklis OFAF_H_ 500V, 1000A				+
5.	Schneider electric saugiklis Fusesarc CF 3-36kV, 100A				+
6.	Schneider electric saugiklis Fusesarc CF 3-36kV, 250A				+
7.	Schneider electric saugiklis MGK				+

	7,2kV, 100A				
8.	Schneider electric saugiklis MGK 7,2kV, 250A				+
9.	Siemens saugiklis 3NA3 1 serijos 500V, 100A				+
10.	Siemens saugiklis 3NA3 1 serijos 500V, 250A				+
11.	Siemens saugiklis 3ND1 3 serijos 690V, 250A				+
12.	Siemens saugiklis 3ND1 3 serijos 690V, 630A				+
13.	ABB automatinis jungiklis E- max800 400V, 800A	+			
14.	Schneider electric automatinis jun- giklis NS800H 400V, 800A			+	

## 5. IŠVADOS

1. Atlikus saugiklių ir skaitmeninių relinių apsaugų derinimo tyrimą, buvo nustatyta, kad visais tirtais atvejais saugikliai geriausiai derinami yra su ilgo laiko inversinėmis laiko ir srovės charakteristikomis.
2. Rekomenduojama saugiklius derinti su ilgo laiko inversinėmis skaitmeninių relinių apsaugų charakteristikomis.
3. Atlikus automatinių jungiklių ir skaitmeninių relinių apsaugų derinimo tyrimą, pastebėta, kad skirtingi automatiniai jungikliai derinami su skirtingomis apsaugų charakteristikomis. Nėra vienos apsaugų charakteristikos kreivės, kuri būtų derinama su visais automatiniiais jungikliais, kaip, kad pastebima su saugikliais.
4. ABB Emax 800A, 400V automatinis jungiklis geriausiai derinamas su normalia inversine apsaugos charakteristika.
5. Schneider electric gamintojo NS800H 400V, 800A automatinis jungiklis geriausiai derinamas su ypatingai inversine apsaugos charakteristika.
6. Norint nustatyti apibendrintas rekomendacijas automatinių jungiklių ir MSA derinimui, reikia atlikti daugiau tyrimų su skirtingais automatiniiais jungikliais.
7. Ištyrus laiko daugiklio  $k$  įtaką apsaugų charakteristikų derinimui, nustatyta, kad saugiklių ir apsaugų suderinamumas geriausias, kai  $k$  lygus 1. Skirtingų gamintojų automatiniai jungikliai su apsaugomis geriausiai suderinami, kai  $k$  lygus 0,05 ir 1.

## 6. LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. LR Energetikos ministro įsakymas „Dėl elektros įrenginių relinės apsaugos ir automatikos įrengimo taisyklių patvirtinimo“ 2011 m. gegužės 27 d. Nr. 1-134. [interaktyvus, žiūrėta 2018.03.04]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.5C97BB4F93B4>
2. SVINKŪNAS, G., NAVICKAS, A. Elektros energetikos pagrindai. Mokomoji knyga, Kaunas: Technologija, 2013, p. 229
3. MORKVĖNAS A., SUČILA V. ir kt., Vilnius: Elektros įrenginių bandymų normos ir apimtys. 2001, p. 231
4. NARGĖNAS, A. Elektros sistemų relinė apsauga: Mokymo priemonė. Vilnius: Lietuvos TSR aukštojo ir specialiojo vidutinio mokslo ministerijos leidybinė redakcinė tarnyba, 1983.
5. AŽUBALIS, V, KORYZNA, J. Trumpieji jungimai elektros sistemose. Vilnius: Lietuvos TSR Aukštojo ir specialiojo vidurinio mokslo ministerija, Kauno Antano Sniečkaus politechnikos institutas, 1986, p. 100.
6. LR Energetikos ministro įsakymas „Dėl elektros įrenginių įrengimo bendrųjų taisyklių patvirtinimo: 2012 m. Vasario 3d. Nr. 1-22. [interaktyvus, žiūrėta 2018.03.04]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.6AF8895BD875>
7. IEC 60947-2 standartas „Žemosios įtampos skirstymo ir valdymo įrenginiai, 2 dalis – automatiniai jungikliai“ [interaktyvus, žiūrėta 2018.04.05]. Prieiga per internetą: <https://archive.org/stream/gov.in.is.iec.60947.2.2003/is.iec.60947.2.2003#page/n35/mode/2up>
8. UAB ABB tinklalapis. <http://new.abb.com/lt>
9. UAB Siemens tinklalapis [http://www.siemens.fi/lt/index/apie\\_siemens.htm](http://www.siemens.fi/lt/index/apie_siemens.htm)
10. Saugikliai [interaktyvus, žiūrėta 2018.04.08]. Prieiga per internetą: <https://www.electricaltechnology.org/2014/11/fuse-types-of-fuses.html>
11. DEGSNYS R., NARGĖLA A. ir kt. Elektros įrenginių įrengimo taisyklės, norminis teisės aktas. Vilnius, 2000, p. 487.
12. ABB automatinių jungiklių katalogas [interaktyvus, žiūrėta 2018.04.25]. Prieiga per internetą: <http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/440613170f6c8628c125761f00506afe/%24file/White%2BPaper%2BVolume%2B1.pdf>
13. Diferencinės relės [interaktyvus, žiūrėta 2018.04.25]. Prieiga per internetą: <https://www.electrical4u.com/differential-relay/>

14. ABB HRC saugiklių katalogas [interaktyvus, žiūrėta 2018.04.30]. Prieiga per internetą: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1SCC317001C0201&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
15. Schneider electric saugiklių katalogas [interaktyvus, žiūrėta 2018.04.30]. Prieiga per internetą: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=AC0479EN\\_042016\\_web.pdf&p\\_Doc\\_Ref=AC0479EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=AC0479EN_042016_web.pdf&p_Doc_Ref=AC0479EN)
16. Siemens saugiklių katalogas [interaktyvus, žiūrėta 2018.04.30]. Prieiga per internetą: <https://www.siemens-pro.ru/docs/3na/catalogo-fusivel-2012-ingles.pdf>
17. LISTOPADSKIS, N, Taikomoji matematika. Mokomoji knyga, Kaunas: Technologija, 2006, p. 164