



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Valdas Grotuzas

0,5 MW VEJO ELEKTRINIŲ PARKO PRIJUNGIMAS PRIE
ELEKTROS SKIRSTOMOJO TINKLO

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas

Doc. dr. Audrius Jonaitis

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

**0,5 MW VEJO ELEKTRINIŲ PARKO PRIJUNGIMAS PRIE
ELEKTROS SKIRSTOMOJO TINKLO**

Baigiamasis bakalauro projektas
Atsinaujinanti energetika (612E33001)

Vadovas
Doc. dr. Audrius Jonaitis

Recenzentas

Projektą atliko
Valdas Grotuzas

KAUNAS, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS

(Fakultetas)

Valdas Grotuzas

(Studento vardas, pavardė)

Atsinaujinanti energetika, 612E33001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 _____ m. _____ d.
_____ Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Valdo Grotuzo** baigiamasis projektas tema „0,5 MW vėjo elektrinių parko prijungimas prie elektros skirstomojo tinklo“ 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)

TVIRTINU:

KTU Elektros ir elektronikos fakulteto
_____ katedros vedėjas

201..... ..

BAKALAURO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui:	Valdai Grotuzui	Grupė	EAE-1/2
1.Darbo tema:			
Lietuvių kalba:	0,5MW vėjo elektrinių parko prijungimas prie elektros skirstomojo tinklo		
Anglų kalba:	Connection of 0.5 MW Wind Farm to Electric Power Distribution Network		

Patvirtinta 2015 m. balandžio mėn. 7 d. dekanų potvarkiu Nr. ST18-F-03-1

2.Darbo tikslas:	atlikti 0,5 MW VE parko prijungimo prie elektros skirstomojo tinklo projektą
3. Reikalavimai ir sąlygos:	Darbas turi būti parengtas pagal KTU Elektros ir elektronikos fakulteto dekanų patvirtintus „Baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodiniai reikalavimus“.

4. Projekto struktūra. Turinys konkretizuojamas kartu su vadovu, atsižvelgiant į BBP pobūdį, pateiktą Metodinių reikalavimų 14 ir 15 punktuose.

Vėjo elektrinių parinkimas. Sujungimo schemos sudarymas. Modulinės transformatorinės parinkimas Elektros aparatų parinkimas Skirstomojo tinklo 10/0,4 transformatorių režimų tikrinimas Elektrinės laidininkų parinkimas Tinklo darbo režimų skaičiavimas dirbant elektrinei minimaliu ir maksimaliu režimu Trumpųjų jungimų srovių skaičiavimas elektrinės vidiniame ir išoriniame tinkle (minimalus TJ apsaugos aparatų tikrinimui, maksimalus TJ –ribinei atjungimo gebai). Aparatų ir laidininkų tikrinimas atsparumui TJ srovei Elektrinės pagaminamo energijos kiekio apskaičiavimas Elektrinės atsipirkimo skaičiavimas

5. Ekonominė dalis. Jei reikia ekonominio pagrindimo; turinys ir apimtis konkretizuojama darbo eigoje kartu su vadovu.

Apskaičiuojamas pagaminamas energijos kiekis, parko metinės pajamos už elektrą, elektrinės atsipirkimo lakas
--

6. Grafinė dalis. Jei reikia, pateikiama schemas, algoritmai ir surinkimo brėžiniai; turinys ir apimtis konkretizuojama darbo eigoje kartu su vadovu.

Pateikiama išorinio tinklo schema, parko supaprastinta skaičiuojamoji schema, VE prijungimo schema, VE išdėstymo brėžinys.
--

7. Ši užduotis yra neatskiriama bakalauro baigiamojo projekto dalis

8. Projekto pateikimo gynimui kvalifikacinėje komisijoje terminas		iki 2015-05-30
		(data)
Užduotį gavau:	_____	
	(studento vardas, pavardė, parašas)	(data)
Vadovas:	_____	
	(pareigos, vardas, pavardė, parašas)	(data)

Grotuzas Valdas, 0,5 MW vėjo elektrinių parko prijungimas prie elektros skirstomojo tinklo.
Bakalauro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Audrius Jonaitis; Kauno technologijos universitetas, elektros ir elektronikos fakultetas, elektros energetikos sistemų katedra.

Kaunas, 2015. 66 psl.

SANTRAUKA

Darbo tikslas, atlikti 0,5 MW VE parko prijungimo prie elektros skirstomojo tinklo projektą.

Norint prijungti VE parką prie elektros skirstomojo tinklo būtina nuosekliai atlikti reikiamus skaičiavimus, tam, kad būtų parinkti reikiamo galingumo įrenginiai, bei sistema dirbtų tinkamai ir ekonomiškai. Pagal projektuojamo parko galią, parinkti elektros laidininkai, bei transformatorius skirtas įtampai paaugštinti nuo 0,4 kV iki 10 kV. Pagal kurių parametrus buvo atlikti energijos nuostolių bei įtampos kritimo skaičiavimai, tam, kad įsitikinti, ar elementai parinkti teisingai ir nuostoliai neviršija leistinų verčių. Pasinaudojus kompiuterine programa *SIEMENS PSS/E*, patikrinti įtampos lygiai sistemos mazguose, kai vartotojų apkrova maksimali, bei kai apkrova minimali.

Norint užtikrinti saugų ir patikimą sistemos darbą, atlikti trumpojo jungimo srovių skaičiavimai. Apskaičiuotos TJ srovių vertės sistemoje prieš prijungiant VE parką ir po prijungimo, išorinio bei vidinio tinklų TJ srovės. Pagal gautus rezultatus buvo parinkti sistemos komutavimo aparatai, bei apsaugos įrenginiai, kurie užtikrins sistemos elementų apsaugą avarinių režimų metu.

Pagal VE prijungimo taisykles atlikti įtampos kokybės skaičiavimai, tam, kad įsitikinti, jog VE tiekama elektros energija atitinka normas ir neturės neigiamos įtakos vartotojams.

Atliktas projekto ekonominis vertinimas siekiant išsiaiškinti ar projektas yra pelningas ir investicijos yra pagrįstos.

Darbo pabaigoje pateikiami skaičiavimų rezultatai.

Reikšminiai žodžiai (iki 8 žodžių): Vėjas, energija, vėjo elektrinė, prijungimas, skirstomasis tinklas.

Grotuzas Valdas. Connection of 0,5 MW wind farm to electric power distribution network. Final project of *bachelor degree* / supervisor doc. dr. Audrius Jonaitis; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of power systems.

Kaunas, 2015. 66 psl.

SUMMARY

The purpose of this project is to make 0,5 MW wind farm connection to electrical power distribution network.

To begin with, it is necessary to make consistent calculations of wind farm connection to distribution network, for correct selection of electrical devices, and maintain clear and economical operation of the system. Cables and transformer (used to transform electrical power from 0,4 kV to 10 kV) were selected by the value of wind farm power. Power losses and voltage drops were calculated by the chosen elements' parameters, to make sure that they were selected correctly and the losses are not too large. Voltage levels in distribution network nodes were checked with program *SIEMENS PSS/E*. Two conditions were applied: when the load is maximum and minimum.

In order to ensure safe and reliable system work, short circuit currents were calculated. According to that, switching and relay protection devices were picked by the value of short circuit current.

Voltage quality parameters were calculated, according to wind farm connection rules, to ensure that supplied electrical energy is within the normal range and would not harm consumers.

Economical calculations were made to make sure that project is profitable and investments are reasoned.

Work results are placed in the end of paperwork.

Keywords (up to 8 words): wind, energy, wind farm, connection, distribution network.

Turinys

Vartojamų sąvokų apibrėžimai	9
Lentelių sąrašas	11
Paveikslėlių sąrašas	12
Įvadas	13
1. Statomų VE charakteristikos	15
1.1. Prie skirstomojo tinklo jungiamų VE techninių žinių lentelės	15
2. Išorinio el. tinklo schema, parametrai, prijungimo vieta.	18
3. VE prijungimo projektas	20
3.1. Galios kabelių parinkimas	20
3.2. Transformatorių parinkimas	22
3.2.1. Srovės transformatoriaus parinkimas	23
3.3. Kabelių, bei transformatoriaus tinkamumo patikrinimas	24
3.3.1. Galios nuostoliai linijose L1 ir L2	24
3.3.2. Galios nuostoliai transformatoriuje	26
3.3.3. Galios nuostoliai linijoje L3	29
3.3.4. Įtampų lygiai ir nuostoliai	30
3.4. Tinklo parametrų nustatymas su kompiuterine programa	32
3.4.1. Tinklo parametrai, kai vartotojų apkrova maksimali	33
3.4.2. Tinklo parametrai, kai vartotojų apkrova minimali	34
3.5. TJ srovių skaičiavimas	35
3.5.1. Trumpųjų jungimų skaičiavimas iš 35/10 TP pusės	36
3.5.2. Trumpo jungimo srovių skaičiavimas įvertinus projektuojamas vėjo elektrines	39
3.5.3. Smūgio srovių skaičiavimas	41
3.6. Komutacinių aparatų ir laidininkų parinkimas	43
3.6.1. 10 kV šynų ir izoliatorių parinkimas	46
3.6.2. 0,4 kV šynų ir izoliatorių parinkimas	49
3.6.3. 10 kV galios skyriklio su automatiniu valdymo sekcionavimo įrenginiu parinkimas	50
3.6.4. 10 kV saugiklio parinkimas	50
3.6.5. 0,4 kV automatinių jungiklių parinkimas	51
3.7. Apsauga nuo viršįtampių ir įžeminimo kontūras	52
3.7.1. MT įžeminimo kontūras ir viršįtampių ribotuvai	53
3.7.2. 10 kV atšakinės atramos, prijungimo prie skirstomojo tinklo taške, įžeminimo kontūras	55
3.7.3. VE įžeminimo kontūras	55
3.8. Įtampos lygiai 10/0,4 kV transformatorių, vartotojų šynose	55
3.9. Įtampos kokybės skaičiavimas pagal prijungimo taisykles.	58
3.9.1. Vėjo elektrinės įtampos staigiųjų pokyčių skaičiavimas	58

3.9.2. Vėjo elektrinės įtampos mirgėjimo koeficientui keliami reikalavimai	59
3.9.3. Vėjo elektrinių įjungimų, perjungimų ir išjungimų sukulto įtampos mirgėjimo laipto faktoriaus skaičiavimai	60
4. Ekonominis įvertinimas.....	62
4.1. Pagaminamas energijos kiekis	62
4.3. Elektrinės metinės pajamos už elektrą.....	64
4.4. Elektrinės atsipirkimo lakas	64
Išvados.....	66
Literatūra	67
Priedai	68

Vartojamų sąvokų apibrėžimai

Atiduodamoji galia – per vėjo elektrinės išvadus pateikiama elektros aktyvioji galia.

Didžiausioji galia – vėjo elektrinės aktyviosios galios 10 minučių trukmės didžiausia vidurkio vertė.

Didžiausia leistinoji galia – 10 minučių trukmės vidurkio galia, kuri, neatsižvelgiant į oro ir elektros tinklo sąlygas, neturi būti viršijama.

Didžiausia matuojamoji galia – per 60 s vidutinė P_{60} arba per 0,2 s vidutinė $P_{0,2}$ didžiausia galia, stebima vėjo elektrinei ištisai veikiant.

Paleisties vėjo greitis – mažiausias pradinis vėjo greitis veleno aukštyje, kuriam esant vėjo elektrinė jau pradeda generuoti galią.

Mirgėjimas – įtampos kokybės rodiklis, kuriuo išreiškiamas žmonių regimų apšvitos svyravimų nepastovumo ar šviesos spektro kitimo suvokimas.

Įtampos mirgėjimo laipto faktorius – vėjo elektrinės atskiro perjungimo veiksmo sukulto įtampos mirgėjimo santykinis matas.

Įtampos pokyčių faktorius – vėjo elektrinės perjungimo veiksmų sukeltų įtampos pokyčių santykinis matas.

Perdavimo ar skirstomojo tinklo pastotė – prie perdavimo ar skirstomojo elektros tinklo prijungta pastotė, turinti 35 kV ir aukštesnę vardinę įtampą.

Perjungimo veiksmas – vėjo elektrinės generatoriaus įjungimas, (apvijų, polių) perjungimas ar išjungimas.

Prijungimo taškas – tiksliai apibrėžtas taškas, kuriame vėjo elektrinės elektros įranga sujungiama su perdavimo ar skirstomuoju tinklu. Jei nėra susitarta kitaip, prijungimo taškas atitinka vėjo elektrinės (ar jų parko) savininko ir perdavimo ar skirstomųjų tinklo operatoriaus elektros tinklų nuosavybės ribą. Šiame taške viena ar daugiau vėjo elektrinių yra prijungiamos prie perdavimo ar skirstomojo tinklo operatoriaus tinklo.

Skirstomasis tinklas – šiose Taisyklėse suprantamas kaip bendro naudojimo elektros tiekimo tinklas, kurio įtampa yra žemesnė kaip 110 kV.

Stabdymo vėjo greitis – vėjo greitis, kuriam esant vėjo elektrinę reikia stabdyti ir atjungti; kad būtų saugoma vėjo turbina.

Tinklo pilnutinės varžos fazinis kampas – tinklo trumpojo jungimo grandinės fazinis kampas.

Vardinė pilnutinė galia – vėjo elektrinės pilnutinė galia, elektrinei dirbant vardine galia, vardine įtampa ir vardiniu dažniu.

Vardinė reaktyvioji galia – vėjo elektrinės reaktyvioji galia, elektrinei dirbant vardine galia, vardine įtampa ir vardiniu dažniu.

Vardinė srovė – vėjo elektrinės srovė, elektrinei dirbant vardine galia, vardine įtampa ir vardiniu dažniu.

Vardinis vėjo greitis – vėjo greitis, kuriam esant vėjo elektrinė pasiekia vardinę galią.

Vėjo elektrinė (vėjo turbinos generatoriaus sistema) – vėjo turbiną, pavarą, generatorių, valdiklį ir bokštą apimanti sistema, verčianti kinetinę vėjo energiją elektros energija.

Vėjo elektrinės išvadai – vėjo elektrinės teikėjo nurodytas taškas – vėjo elektrinės dalis, per kurią vėjo elektrinė gali būti sujungta su elektros sistema.

Vėjo elektrinės vardinė galia – didžiausia aktyvioji galia, kurią generuoti įprastinėmis veikos sąlygomis vėjo elektrinė yra sukonstruota ir kuri yra nurodyta elektrinės tipo patvirtinime.

Vėjo elektrinių parkas – jungtinė visuma, susidedanti iš vienos ar daugiau vėjo elektrinių ir jų įrenginių, jungianti jas prie prijungimo taško bei tarpusavyje.

Vėjo elektrinių parko vardinė galia – vėjo elektrinių parko vardinė galia yra apibrėžiama kaip parko elektrinių vardinų galių suma.

VARTOJAMŲ SANTRUMPŲ APIBRĖŽIMAI

VE – Vėjo elektrinė.

EES – elektros energetikos sistema

TP – transformatorinė pastotė

MT – modulinė transformatorinė

TJ – trumpasis jungimas

OL – oro linija

KL – kabelinė linija

PE – apsauginis laidininkas

PEN – apsauginis nulinis laidininkas

Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Bendrieji vėjo elektrinės duomenys	15
1.2 lentelė. Vardiniai vėjo elektrinės duomenys	16
1.3 lentelė. Aktyviosios galios bandymų duomenys	16
1.4 lentelė. Reaktyvioji galia, esant didžiausioms aktyviosioms galioms	16
1.5 lentelė. Vėjo elektrinės veikos sukiamo įtampos mirgėjimo koeficientas $c(\psi_k, v_a)$	16
1.6 lentelė. Vėjo elektrinės įjungimų, esant pradiniam vėjo greičiui, sukeltas įtampos mirgėjimas ir jos pokytis.....	17
1.7 lentelė. Vėjo elektrinės įjungimų, esant vardiniam vėjo greičiui, sukeltas įtampos mirgėjimas ir jos pokytis	17
3.1 lentelė. Rekomenduojami ekonominio srovės tankio intervalai	20
3.2 lentelė. Kabelių parinkimo duomenys	22
3.3 lentelė. Transformatoriaus parametrai	23
3.4 lentelė. Galios nuostoliai tinklo elementuose.....	29
3.5 lentelė. Įtampos lygiai mazguose, bei nuostoliai	32
3.6 lentelė. Oro linijų kabeliai.....	37
3.7 lentelė. Smūgio srovės	43
3.8 lentelė. 10 kV šynų parinkimas	48
3.9 lentelė. 10 kV izoliatorių parinkimas.....	49
3.10 lentelė. 0,4 kV šynų parinkimas	49
3.11 lentelė. 0,4 kV izoliatorių parinkimas.....	50
3.12 lentelė. 10 kV galios skyriklio parinkimas.....	50
3.13 lentelė. 10 kV saugiklio parinkimas	51
3.14 lentelė. 0,4 kV VE1 ir VE2 automatinių jungiklių parinkimas	52
3.15 lentelė. 0,4 kV automatinio jungiklio prieš transformatorių parinkimas	52
3.16 lentelė. 10 kV pusės viršįtampių ribotuvų parinkimo sąlygos.	53
3.17 lentelė. 0,4 kV pusės viršįtampių ribotuvų parinkimo sąlygos.	53
3.18 lentelė. Įžeminimo kontūrų parametrai	55
3.19 lentelė. Įtampų lygiai 10/0,4 kV transformatorinėse, vartotojų šynose	57
3.20 lentelė. VE apsaugų nustatymai.....	58

Paveikslėlių sąrašas

1.1 pav. SIVA 250/50 vėjo elektrinė	15
2.1 pav. Išorinio elektros tinklo schema ir prijungimo vieta	18
2.2 pav. Supaprastinta tinklo schema	19
3.1 pav. Ekvivalentinės dviejų apvijų transformatoriaus schemos	26
3.2 pav. Iš tinklo imama galia, vartotojų maksimalios apkrovos metu	33
3.3 pav. Įtampų lygiai mazguose, kai vartotojų apkrova maksimali	34
3.4 pav. Į tinklą atiduodama galia, kai vartotojų apkrova minimali	34
3.5 pav. Įtampų lygiai mazguose, kai vartotojų apkrova minimali	35
3.6 pav. Atstojamoji tinklo schema	35
3.7 pav. Trumpojo jungimo srovės.....	41
3.8 pav. 10 kV šynų išdėstymas	46
3.9 pav. 0,4 kV šynų išdėstymas	49

Įvadas

Žmonija sunaudoja vis didesnius kiekius elektros energijos, o jos pagaminimui sunaudojamas dar didesnis kiekis iškastinio kuro, kurį deginant ar kitaip panaudojant išgaunama elektros energija. Naudojant šį kurą išskiriami milžiniški kiekiai teršalų, kurie kelia grėsmę žmonių sveikatai, ir mūsų planetai. Su metais, elektros energijos poreikis sparčiai didėja, o tai reiškia, kad tai atneša dar didesnę grėsmę mums. Todėl pastaruoju metu sparčiai didėja investicijos į alternatyvius elektros energijos gamybos būdus, kurie naudoja neišsenkamus energijos šaltinius ir tuo pačiu nekenkia aplinkai. Vienas iš šių būdų yra elektros gamyba pasinaudojant oro masių judėjimo energija, tai yra vėjo kinetine energija, kuri vėjo turbinų pagalba yra verčiama į elektros energiją.

Alternatyvūs energijos gamybos būdai, o taip pat ir vėjo energija, turi ne tik teigiamų bet ir neigiamų bruožų. Viena didžiausių vėjo elektrinių keliamų problemų, yra jų nepastovumas, kuris kelia didžiulius rūpesčius EES specialistams, turintiems palaikyti galių balansą. VE kintanti galia dažniausiai yra balansuojama šiluminių elektrinių pagalba, kurios dėl lėto pasileidimo negali būti pilnai išjungiamos, o turi būti visuomet pasiruošusios kompensuoti galios trūkumus, kurie atsiranda nustojus pūsti vėjui. Šiluminės elektrinės dirbdamos budėjimo režimu degina kurą, todėl didėja elektros kaina, bei yra išmetami degimo produktai į aplinką, taip yra dalinai sumažinama VE kuriama ekologinė ir ekonominė nauda.

Siekiant sumažinti šias problemas yra sukurta daugybė modelių kaip būtų galima tai padaryti, vienas populiariesnių yra paskirstytosios generacijos panaudojimas. Tai yra gaminti energija ten kur ji yra naudojama, o energijos perteklių perduoti į tinklą arba kaupti vietoje, panaudojus akumulatorius, kuro elementus ar kitokias technologijas, kurių pagalba piko metu esant poreikiui būtų padengiamas elektros trūkumas. Siekiant įgyvendinti šį modelį, reikėtų atsisakyti centralizuotos elektros gamybos, dėl ko sumažėtų reikiamų investicijų į perdavimo tinklus. Elektros gaminimas arčiau vartotojų padidintų sistemos efektyvumą, o tai padėtų įgyvendinti Lietuvos energetikos strateginius tikslus iki 2020 m, 20% padidinti elektros vartojimo efektyvumą.

Prijungti elektros generatorių prie skirstomųjų tinklų nėra labai paprasta, kad būtų galima tai padaryti, būtina įvykdyti daugybę reikalavimų. Projektuojamos elektrinės galia turi būti suderinta su tinklų pralaidumu, generuojamos elektros kokybė turi atitikti standartus, bei nekenkti vartotojams perduodamos elektros energijos kokybei. Tad norint prijungti elektrinę ir įvykdyti šiuos reikalavimus būtina atlikti kruopščius skaičiavimus.

Darbo tikslas – parengti 0,5 MW VE parko prijungimo prie elektros skirstomojo tinklo projektą

Uždaviniai:

- Apžvelgti prijungiamo vėjo elektrinių parko parametrus.
- Susipažinti su skirstomojo tinklo schemomis, ir parametrais.

- Atlikti reikalingus skaičiavimus vėjo elektrinių parko prijungimui.
- Ištirti vėjo elektrinių įtaką sistemos parametrams.
- Atlikti VE parko ekonominį vertinimą

1. Statomų VE charakteristikos

Projektuojamame VE parke, parinktos dvi SIVA 250/50 vėjo elektrinės [1], kurių bendra galia sieks 0.5 MW. Šio Danijos gamintojo VE pritaikytos efektyviai dirbti prie mažų ir vidutinių vėjo greičių, jos pagamintos siekiant užtikrinti patikimumą ir ilgaamžiškumą. Tai patikimos, lengvai aptarnaujamos, bei konkurencingos vėjo elektrinės. Šios elektrinės idealiai tinka Lietuvos sąlygoms.



1.1 pav. SIVA 250/50 vėjo elektrinė

1.1. Prie skirstomojo tinklo jungiamų VE techninių žinių lentelės

1.1 lentelė. Bendrieji vėjo elektrinės duomenys

Vėjo elektrinės gamintojas ir gaminio pavadinimas	SIVA 250/50
Vėjo elektrinės tipas (gulsčiosios ar stačiosios ašies)	Gulsčiosios
Sparnų tipas: Menčių skaičius Menčių pokrypio valdymas Greičio netekimo aktyvusis valdymas Greičio netekimo pasyvusis valdymas	3 Stall* aktyvus
Sukimosi greičio valdymo tipas Pastovaus greičio Dviejų greičių Kintamo greičio	Kintamo greičio
Veleno ašies aukštis, m	50
Vėjaračio skersmuo, m	30
Generatoriaus tipas ir vardiniai įprastinės veikos ir pereinamojo vyksmo parametrai (santykinės generatoriaus varžos)	Asinchroninis, 4/6 polių
Generatoriaus (-ių) vardinė galia (-ios), kW	250 / 50
Keitiklio tipas, paskirtis ir prijungimo schema	Mita IC 1000
Keitiklio vardinė galia, kW, bei santykinės keitiklio varžos	250
Transformatoriaus tipas ir vardinė galia, kVA, bei santykinės transformatoriaus varžos	400

* Pasyvus valdymas oro sūkuriiais, susidarančiais kitapus rotoriaus mentės (angliškai – passive stall control);

1.2 lentelė. Vardiniai vėjo elektrinės duomenys

Vardinė aktyvioji galia, P_n , kW	250
Vardinė įtampa, U_n	415
Vardinė srovė, I_n	380
Transformatoriaus transformavimo koeficientas, kV/kV	25
Paleidimo srovės ir vardinės srovės santykis	1,5
Vardinis elektrinės veikos vėjo greitis, v_n , m/s	12
(Generavimo pradžios) paleisties vėjo greitis, m/s	4
(Priverstinio) stabdymo vėjo greitis, m/s	25

1.3 lentelė. Aktyviosios galios bandymų duomenys

Didžiausia leistinoji aktyvioji galia, $P_{max\ leist}$, kW	250
Didžiausios leistinosios ir vardinės galių santykis $p_{max\ leist} = P_{max\ leist} / P_n$	1.1
Didžiausia išmatuotoji 60 s intervalo vidutinė galia P_{60} , kW	300
Didžiausios išmatuotosios 60 s intervalo vidutinės ir vardinės galių santykis $p_{60} = P_{60} / P_n$	1,2
Didžiausia išmatuotoji 0,2 s intervalo vidutinė galia $P_{0,2}$, kW	375
Didžiausios išmatuotosios 0,2 s intervalo vidutinės ir vardinės galių santykis $p_{0,2} = P_{0,2} / P_n$	1,5

1.4 lentelė. Reaktyvioji galia, esant didžiausioms aktyviosioms galioms

Reaktyvioji galia, nustatyta generuojant didžiausią leistinąją aktyviąją galią $P_{max\ leist}$, kvar	85
Reaktyvioji galia, nustatyta generuojant didžiausią 60 s intervalo vidutinę aktyviąją galią P_{60} , kvar	100
Reaktyvioji galia, nustatyta generuojant didžiausią 0,2 s intervalo vidutinę aktyviąją galią $P_{0,2}$, kvar	160

1.5 lentelė. Vėjo elektrinės veikos sukeliama įtampos mirgėjimo koeficientas $c(\psi_k, v_a)$

Vidutinis metinis vėjo greitis, v_a [m/s]	Perdavimo ar skirstomojo tinklo grandinės fazinis kampas, ψ_k [laipsniais]			
	30°	50°	70°	85°
6	10	11	12	12
7,5	10	11	12	12
8,5	10	11	12	12
10,0	10	11	12	12

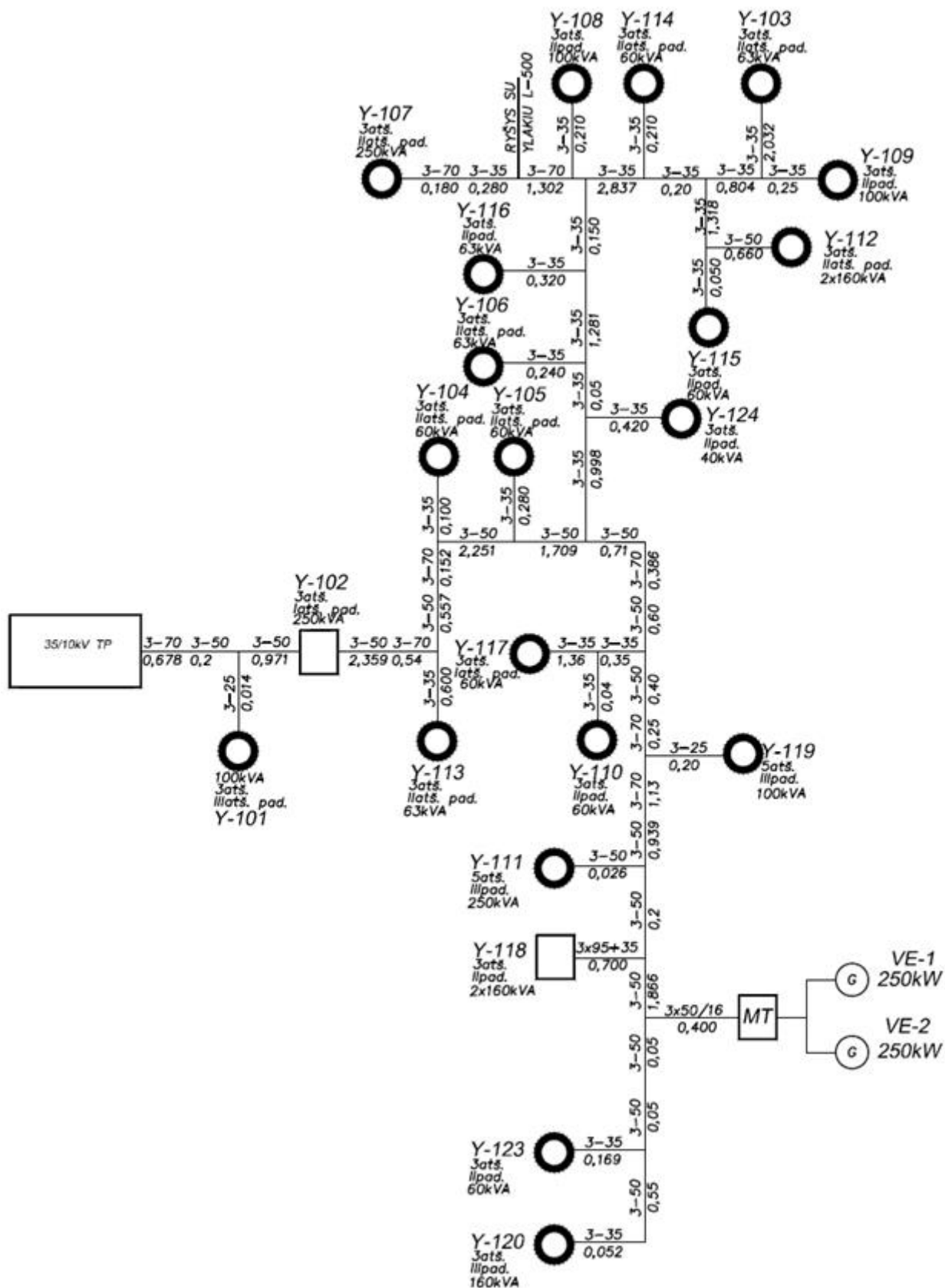
1.6 lentelė. Vėjo elektrinės įjungimų, esant pradiniam vėjo greičiui, sukeltas įtampos mirgėjimas ir jos pokytis

Jungimo veiksmo tipas	Įjungimas, esant pradiniam vėjo greičiui			
Įjungimų ir išjungimų per 10 min. didžiausias skaičius, N_{10}	12			
Įjungimų ir išjungimų per 2 val. didžiausias skaičius, N_{120}	120			
Perdavimo ar skirstomojo tinklo grandinės fazinis kampas, ψ_k , laipsniais	30°	50°	70°	85°
Įtampos mirgėjimo laipto faktorius, $k_f(\psi_k)$	0,7	0,8	1,0	1,0
Įtampos pokyčio faktorius, $k_u(\psi_k)$	0,5	0,6	0,6	0,7

1.7 lentelė. Vėjo elektrinės įjungimų, esant vardiniam vėjo greičiui, sukeltas įtampos mirgėjimas ir jos pokytis

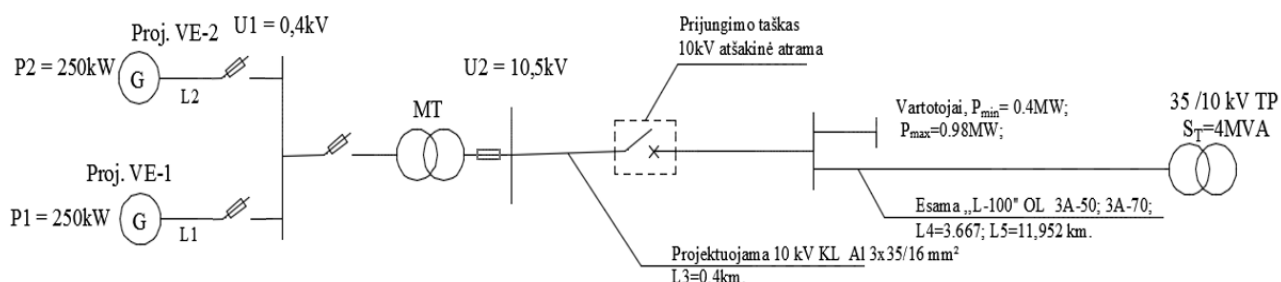
Jungimo veiksmo tipas	Įjungimas, esant vardiniam vėjo greičiui			
Įjungimų ir išjungimų per 10 min. didžiausias skaičius, N_{10}	1			
Įjungimų ir išjungimų per 2 val. didžiausias skaičius, N_{120}	12			
Perdavimo ar skirstomojo tinklo grandinės fazinis kampas, ψ_k , laipsniais	30°	50°	70°	85°
Įtampos mirgėjimo laipto faktorius, $k_f(\psi_k)$	1,1	1,3	1,4	1,5
Įtampos pokyčio faktorius, $k_u(\psi_k)$	2,0	1,7	1,9	2,1

2. Išorinio el. tinklo schema, parametrai, prijungimo vieta.



2.1 pav. Išorinio elektros tinklo schema ir prijungimo vieta

2.1 pav. pavaizduotame tinkle vienintelis generatorius yra VE parkas, todėl galime supaprastinti schemą ir sudaryti paprastesnę skaičiuojamąją schemą, kuri parodyta 2.2 pav. Šioje schemeje vartotojų apkrovos pakeistos į vieną ekvivalentinę apkrovą.



2.2 pav. Supaprastinta tinklo schema

35/10 TP transformatoriaus vardinė galia $S_T=4$ MVA. Prie 10 kV linijos jungiančios TP ir vėjo elektrines yra prijungtų vartotojų, kurių vartojimas piko metu išauga iki $P_{\max}=0,98$ MW, o mažiausias vartojimas siekia 0,4 MW. Vėjo elektrinių parkas yra projektuojamas Skuodo rajone, kur vidutinis metinis vėjo greitis $v = 4,5\sim 5$ m/s.

3. VE prijungimo projektas

3.1. Galios kabelių parinkimas

Siekiant, kad sistema dirbtų patikimai ir efektyviai, būtina tinkamai parinkti kabelius. Kadangi klaidingai parinkus kabelius, jie šyla, atsiranda dideli galios nuostoliai, arba dėl per didelės apkrovos jie gali tiesiog perkaisti ir nutrūkti. Kad būtų galima teisingai parinkti galios kabelius būtina žinoti kabeliais tekėsiančias sroves, kad galėtume jas apskaičiuoti turime žinoti kabeliais perduodamas galias ir įtampas. Žinant sroves kabelių storiai gali būti apskaičiuojami pagal ekonominį srovės tankį J_{ekonom} .

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}; \quad (1)$$

čia S – linija perduodama pilnutinė galia, [VA];

P – aktyvioji galia, [W];

$\cos\varphi$ – galios koeficientas.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}; \quad (2)$$

čia I – skaičiuojamoji linijos srovė, [A];

U – skaičiuojamoji laido įtampa, [V].

$$A = \frac{I}{J_{ekonom}}; \quad (3)$$

čia A – laido skerspjūvio plotas, [mm²];

J_{ekonom} – ekonominis srovės tankis, [A/mm²].

Ekonominio srovės tankio vertės duotos 3.1 lentelėje.

3.1 lentelė. Rekomenduojami ekonominio srovės tankio intervalai

Laidininkas	Ekonomiškas srovės tankis ,A/mm ² ,esant maksimalios apkrovos trukmei 3000-5000 val. per metus
varis	1,5-2,2
aliumininis	1,1-1,5

Pagal pateiktą metodiką apskaičiuojame srovės tekančias linijomis.

Generatoriaus galios faktorius $\cos\varphi=0,946$.

$$S_{VE1} = \frac{P_{VE1}}{\cos\varphi} = \frac{250,000 \text{ kW}}{0,946} = 264,270 \text{ kVA};$$

čia S_{VE1} - pirmos vėjo elektrinės pilnutinė galia;

P_{VE1} - pirmos vėjo elektrinės aktyvioji galia.

$$I_{L1} = \frac{S_{VE1}}{\sqrt{3} \cdot U_{L1}} = \frac{264,270 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 381,440 \text{ A};$$

čia I_{L1} – pirmos linijos skaičiuojamoji srovė;

U_{L1} – pirmos linijos skaičiuojamoji įtampa.

Priimame, kad kabeliai bus variniai, o $J_{ekonom}=2,2 \text{ A/mm}^2$.

$$A_{L1} = \frac{I_{L1}}{J_{ekonom}} = \frac{381,440 \text{ A}}{2,2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}} = 173,381 \text{ mm}^2;$$

čia A_{L1} - ekonominis pirmos linijos laido skerspjūvio plotas.

Pagal apskaičiuotą A_{L1} reikšmę parenkame linijos L1 kabelį iš (1. Priede) lentelėje pateiktų variantų su sąlyga, kad parinkto kabelio skerspjūvio plotas ir maksimali ilgalaikė darbinė srovė būtų nemažesnės nei apskaičiuotos reikšmės.

Linijai L1 parenkame varinį kabelį $4 \times 240 \text{ mm}^2$, kurio leistina maksimali ilgalaikė srovė yra 517 A. Galime teigti, kad kabelis yra parinktas teisingai, nes ši reikšmė yra didesnė nei skaičiuojamoji linijos L1, srovė I_{L1} , kuri yra lygi 381,440 A.

Pagal pateiktą metodiką parenkame ir kitų linijų kabelius, kurie pateikti 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. kabelių parinkimo duomenys

Linija	Linijos ilgis, [km]	Pilnutinė apkrova, S [kVA]	Įtampa, U [V]	Skaičiuojamoji srovė, I [A]	Skerspjūvio plotas, A [mm ²]	Parinkto kabelio duomenys
L1	0,01	264,270	400	381,44	173,381	Cu, 4x240/120 mm ² , I _{max} =517A, R=0,0754 Ω/km, X=0,09 Ω/km
L2	0,11	264,270	400	381,44	173,381	Cu, 4x240/120 mm ² , I _{max} =517A, R=0,0754 Ω/km, X=0,09 Ω/km
L3	0,4	528,24	10 500	29,04	19,5	Al, 3x35/16mm ² , I _{max} =125 A, R=0,868 Ω/km, X=0,12 Ω/km

3.2. Transformatorių parinkimas

Transformatorius elektros tinkluose yra labai svarbus įrenginys. Šio įrenginio pagalba yra sumažinami elektros energijos nuostoliai, todėl sistema dirba efektyviau. Transformatorių galios skaičiavimai atlikti naudojantis literatūra [2]. Norint vartotojams perduoti galią P , kuri apskaičiuojama pagal 4. formulę.

$$P = UI \cdot \cos\varphi; \quad (4)$$

čia $\cos\varphi$ - galios koeficientas.

Laiduose gaunami energijos nuostoliai, kurie yra lygūs P_d , randama iš 5. formulės.

$$P_d = R_l I^2; \quad (5)$$

čia P_d – aktyviosios galios nuostoliai, W;

R_l – laido varža, Ω.

Iš 5. formulės, matome, kad galios nuostoliai yra proporcingi laido varžos ir srovės kvadrato sandaugai, todėl norint sumažinti nuostolius yra tikslinga kelti įtampą.

Elektros generatoriai dažniausiai generuoja palyginus žemą įtampą, o, kad pasiektų vartotojus turi būti perduodama dideliais atstumais, todėl generatoriaus pagaminta įtampa aukštinančiojo transformatoriaus pagalba yra aukštinama iki 6, 10, 35, 110 ar net iki 330 kV įtampos, priklausomai nuo to kokios galios bus perduodamos, bei kokiais atstumais bus perduodama. Skirstomajame tinkle vyrauja

vidutinė įtampa (6, 10, bei 35 kV), perdavimo tinkluose aukšta (110, 330 kV) įtampa, o vartotojai gauna įtampą, kuri žeminančio transformatoriaus pagalba yra sužeminama iki žemos (0,4 kV) įtampos. Vartotojų laiduose nuostoliai palyginus nedideli, kadangi žeminantys transformatoriai rengiami arti vartotojų.

Kad galėtume teisingai parinkti transformatorių, turime žinoti pirminės bei antrinės apvių vardines įtampas U_1 , bei U_2 ir pagrindinį parinkimo parametą, apkrovimo skaičiuojamąją galią S_{sk} . Parinkto transformatoriaus vardinė galia negali būti mažesnė, nei apkrovimo skaičiuojamoji galia.

Mūsų atveju, S_{sk} randama pagal 6. Formulę:

$$S_{sk} = S_{G1} + S_{G2}; \quad (6)$$

čia S_{G1} , S_{G2} - pirmo, bei antro generatoriaus pilnutinės galios, kVA.

$$S_{sk} = 264,270 + 264,270 = 528,24 \text{ kVA};$$

Žinodami visus reikiamus parametrus iš katalogo (2. Priedas). Parenkame transformatorių.

3.3 lentelė. Transformatoriaus parametrai

CG GLOBAL 0,4/10, 800	
Galia, S_T , [kVA]	630
Įtampa	
U_{N1} , [kV]	0,4
U_{N2} , [kV]	10
Tuščios veikos galios nuostoliai, ΔP_{TV} , [kW]	0,73
Trumpojo jungimo galios nuostoliai, ΔP_{TJ} , [kW]	4,6
$U_{TJ\%}$, [%]	4
Tuščios veikos srovė, $I_{TV\%}$, [%]	1,2

3.2.1. Srovės transformatoriaus parinkimas

Srovės transformatorius, tai matavimo transformatorius, kuris aukšto nominalo srovę sužemina tiek, kad būtų galima pamatuoti. Šie prietaisai reikalingi sistemos parametrų stebėjimui, perduodamos energijos matavimui. Srovės matavimo transformatoriai parenkami pagal nominalią srovę, parenkamas srovės transformatorius bus jungiamas į 10 kV grandinę, skaičiuojamoji šios dalies srovė 29,04 A.

Parinktas MSQ-30 30/5 A srovės transformatorius.

3.3. Kabelių, bei transformatoriaus tinkamumo patikrinimas

3.3.1. Galios nuostoliai linijose L1 ir L2

Maksimalūs nuostoliai linijose gali siekti 5%, jei nuostoliai didesni, būtina parinkti storesnius kabelius. Kad galėtume apskaičiuoti galios nuostolius, mums reikia žinoti kabelių aktyvąją ir reaktyviąją varžas, bei galias ir linijos ilgį.

Kai linija, kurios aktyvioji varža R_L , reaktyvioji varža X_L , yra apkrauta galia $S=P+Q$ ir žinome įtampą linijos pradžioje U_1 , tai galios nuostolius randame taip:

$$R_L = R_k \cdot L; \quad (7)$$

čia R_k - aktyvinė kabelio varža, Ω/km ;

L - kabelio ilgis, km.

$$X_L = X_k \cdot L \quad (8)$$

čia X_k - reaktyvinė kabelio varža, Ω/km .

$$\Delta P = \frac{S^2}{U_1^2} \cdot R_L; \quad (9)$$

čia ΔP - aktyvinės galios nuostoliai linijoje, W;

R_L – aktyvioji linijos varža, Ω ;

U_1 – įtampa linijos pradžioje, V;

S – pilnutinė linija perduodama galia, VA.

$$\Delta Q = \frac{S^2}{U_1^2} \cdot X_L; \quad (10)$$

čia ΔQ - reaktyvinės galios nuostoliai linijoje, kVar;

X_L – reaktyvioji linijos varža, Ω .

$$\Delta S = \Delta P + j\Delta Q; \quad (11)$$

čia ΔS - pilnutinės galios nuostoliai linijoje, kVA;

j – menamasis vienetas.

$$\Delta S\% = \frac{\Delta S \cdot 100\%}{S}; \quad (12)$$

čia $\Delta S\%$ - pilnutinės galios nuostoliai, %.

Pasinaudodami, duomenimis pateiktais 3.2 lentelėje, apskaičiuosime nuostolius linijose.

$$R_{L1} = R_{k1} \cdot L_1 = 0,0754 \frac{\Omega}{km} \cdot 0,01 km = 0,000754 \Omega;$$

čia R_{L1} - linijos L1 aktyvinė varža;

R_{k1} - kabelio L1 aktyvinė varža;

L_1 - linijos L1 ilgis.

$$X_{L1} = X_{k1} \cdot L_1 = 0,09 \frac{\Omega}{km} \cdot 0,01 km = 0,00094 \Omega;$$

čia X_{L1} - linijos L1 reaktyvinė varža;

X_{k1} - kabelio L1 reaktyvinė varža;

$$\Delta P_{L1} = \frac{S_{L1P}^2}{U_1^2} \cdot R_{L1} = \frac{264,270^2 kVA}{0,4^2 kV} \cdot 0,000754 \Omega = 329,115 W;$$

čia ΔP_{L1} - linijos L1 aktyviosios galios nuostoliai;

S_{L1P} – galia linijos L1 pradžioje.

$$\Delta Q_{L1} = \frac{S^2}{U_1^2} \cdot X_{L1} = \frac{264,270^2 kVA}{0,4^2 kV} \cdot 0,00094 \Omega = 410,302 Var;$$

čia ΔQ_{L1} - linijos L1, reaktyviosios galios nuostoliai.

$$\Delta S_{L1} = \Delta P_{L1} + j\Delta Q_{L1} = 329,115 W + j410,302 Var = \sqrt{329,115^2 + 410,302^2} = 525,773 VA;$$

čia ΔS_{L1} - linijos L1, pilnutinės galios nuostoliai.

$$\Delta S\%_{L1} = \frac{\Delta S_{L1} \cdot 100\%}{S_{L1}} = \frac{525,773 \text{ VA} \cdot 100\%}{264,270 \text{ kVA}} = 0,199\%;$$

čia $\Delta S\%_{L1}$ - linijos L1 pilnutinės galios nuostoliai.

$0,199\% < 5\%$ sąlyga tenkinama, galime teigti, kad kabelis parinktas teisingai.

Pagal aptartą metodiką apskaičiuojame galios nuostolius kitose linijose, rezultatai pateikiami 3.4 lentelėje.

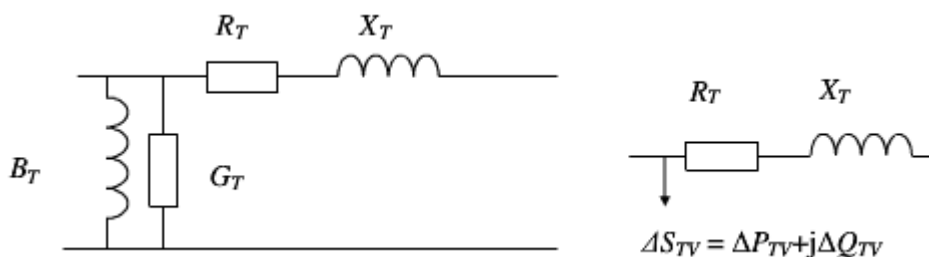
Žinodami nuostolius linijose L1 ir L2 galime apskaičiuoti galią, kuri pasiekia transformatoriaus pirminę apviją.

$$S_{T1} = S_{L1P} + S_{L2P} - \Delta S_{L1} - \Delta S_{L2} = 264\,270 + 264\,270 - 525,773 - 5\,635 = 522,379 \text{ kVA};$$

čia S_{T1} - galia, transformatoriaus pirminėje apvijoje.

3.3.2. Galios nuostoliai transformatoriuje

Norint supaprastinti skaičiavimus galima pasinaudoti ekvivalentine transformatoriaus schema su skersiniais, bei išilginiais laidumais, skersiniai laidumai gali būti pakeičiami tuščios veikos galingumu S_{TV} .



3.1 pav. Ekvivalentinės dviejų apvių transformatoriaus schemas

Transformatoriaus aktyvioji varža randama iš formulės:

$$R_T = \frac{\Delta P_{TJ} \cdot U_P^2}{S_{TN}^2 \cdot 1000}; \quad (13)$$

čia R_T – transformatoriaus aktyvioji varža, Ω ;

ΔP_{TJ} - transformatoriaus trumpojo jungimo nuostoliai, W;

U_P – pasirinktoji įtampa, kurios atžvilgiu atliekami skaičiavimai, mūsų atveju, 10 kV;

S_{TN} – transformatoriaus nominali galia, VA.

Transformatoriaus pilnutinė varža randama iš formulės:

$$Z_T = \frac{U_{TJ\%} \cdot U_P^2}{S_{TN} \cdot 100}; \quad (14)$$

čia Z_T - Transformatoriaus pilnutinė varža, Ω ;

$U_{TJ\%}$ - transformatoriaus trumpojo jungimo įtampa procentais, nuo vardinės įtampos.

Iš 15 formulės randame reaktyviąją, transformatoriaus varžą:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}; \quad (15)$$

čia X_T – transformatoriaus reaktyvioji varža, Ω ;

Pasinaudodami duomenimis duotais 3.3 lentelėje, bei pateiktą skaičiavimo metodiką, apskaičiuojame transformatoriaus varžas.

$$R_T = \frac{\Delta P_T \cdot U_P^2}{S_{TN}^2} = \frac{4,8 \cdot 10^2}{630^2} = 1,209 \Omega;$$

$$Z_T = \frac{U_{TJ\%} \cdot U_P^2}{S_{TN} \cdot 100} = \frac{6 \cdot 10^2}{630 \cdot 100} = 6,349 \Omega;$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{6,349^2 - 1,209^2} = 6,233 \Omega;$$

Žinodami transformatoriaus varžas, nominalią galią, įtampas, bei paduodamą galią į transformatoriaus pirminę apviją, galime apskaičiuoti galios nuostolius transformatoriuje.

Tuščios veikos reaktyvioji galia randama pagal 16 formulę:

$$\Delta Q_{TV} = \frac{I_{TV\%}}{100} \cdot S_{TN}; \quad (16)$$

čia ΔQ_{TV} - tuščios veikos reaktyviosios galios nuostoliai, kVar;

$I_{TV\%}$ - tuščios veikos srovė, A.

Transformatoriaus aktyviosios galios nuostoliai:

$$\Delta P_T = \frac{S_{T1}^2}{U_p^2} \cdot R_T + \Delta P_{TV}; \quad (17)$$

čia ΔP_T - transformatoriaus aktyviosios galios nuostoliai, W;

S_{T1} -transformatoriaus pirminės apvijos apkirva, VA;

ΔP_{TV} - tuščiosios veikos aktyviosios galios nuostoliai, W.

Transformatoriaus reaktyviosios galios nuostoliai:

$$\Delta Q_T = \frac{S_{T1}^2}{U_p^2} \cdot X_T + \Delta Q_{TV}; \quad (18)$$

čia ΔQ_T - transformatoriaus reaktyviosios galios nuostoliai, kVar.

Pilnutiniai transformatoriaus galios nuostoliai:

$$\Delta S_T = \Delta P_T + j\Delta Q_T; \quad (19)$$

čia ΔS_T - transformatoriaus pilnutinės galios nuostoliai, VA;

Pasinaudodami ankstesnių skaičiavimų duomenimis, 3.3 lentelės duomenimis, bei pateikta metodiką apskaičiuojame galios nuostolius transformatoriuje.

$$\begin{aligned} \Delta Q_{TV} &= \frac{I_{TV\%}}{100} \cdot S_{T1} = \frac{1,2}{100} \cdot 522,379 = 6,269 \text{ kVA}; \\ \Delta P_T &= \frac{S_{T1}^2}{U_p^2} \cdot R_T + \Delta P_{TV} = \frac{522,379^2}{10^2} \cdot 1,209 + 0,73 = 3,3 \text{ kW}; \\ \Delta Q_T &= \frac{S_{T1}^2}{U_p^2} \cdot X_T + \Delta Q_{TV} = \frac{522,379^2}{10^2} \cdot 6,233 + 6,269 = 17,64 \text{ kVar}; \\ \Delta S_T &= \Delta P_T + j\Delta Q_T = 3,3 + j17,64 = \sqrt{3,3^2 + 17,64^2} = 17,946 \text{ kVA}; \end{aligned}$$

Galios nuostoliai transformatoriuje lygus 40,223 kVA, kas procentais sudaro:

$$\Delta S_{T\%} = \frac{17,946 \cdot 100\%}{522,379} = 3,435\%;$$

Taigi galime paskaičiuoti galią už transformatoriaus:

$$S_{T2} = S_{T1} - \Delta S_T = 522,379 - 17,946 = 504,433 \text{ kVA};$$

3.3.3. Galios nuostoliai linijoje L3

Žinodami galią už transformatoriaus galime apskaičiuoti galios nuostolius linijoje L3, rezultatus pateiksime 3.4 lentelėje.

$$\Delta P_{L3} = \frac{S_{T2}^2}{U_1^2} \cdot R_{L1} = \frac{504,433^2 \text{ kVA}}{10^2 \text{ kV}} \cdot 0,3472 \Omega = 883,46 \text{ W};$$

čia ΔP_{L3} - linijos L3, aktyviosios galios nuostoliai.

$$\Delta Q_{L3} = \frac{S_{T2}^2}{U_1^2} \cdot X_{L1} = \frac{504,433^2 \text{ kVA}}{10^2 \text{ kV}} \cdot 0,048 \Omega = 122,137 \text{ Var};$$

čia ΔQ_{L3} - linijos L3, reaktyviosios galios nuostoliai.

$$\Delta S_{L3} = \Delta P_{L1} + j\Delta Q_{L1} = 883,46 \text{ W} + j122,137 \text{ Var} = \sqrt{883,46^2 + 122,137^2} = 891,863 \text{ VA};$$

čia ΔS_{L3} - linijos L3, pilnutinės galios nuostoliai.

$$\Delta S\%_{L3} = \frac{\Delta S_{L3} \cdot 100\%}{S_{L3}} = \frac{891,863 \text{ VA} \cdot 100\%}{504,433 \text{ VA}} = 0,177\%;$$

čia $\Delta S\%_{L3}$ - linijos L3 pilnutinės galios nuostoliai.

3.4 lentelė. Galios nuostoliai tinklo elementuose

Linija	R, elemento aktyvinė varža, [Ω]	X _{el,elemento} reaktyvinė varža, [Ω]	ΔP , aktyviosios galios nuostoliai, [W]	ΔQ reaktyviosios galios nuostoliai, [Var]	ΔS , pilnutinės galios nuostoliai, [VA]	$\Delta S\%$, pilnutinės galios nuostoliai, [%];
L1	0,000754	0,00094	329,115	410,302	525,773	0,199
L2	0,00829	0,0099	3 619	4 321	5 636	2,13
L3	0,3472	0,048	883,46	122,137	891,863	0,177
T	1,209	6,233	3 300	17 640	17 946	3,435

Žinodami galią transformatoriaus išėjime, bei nuostolius linijoje L3, galime paskaičiuoti atiduodamą galią parko prijungimo prie 10 kV oro linijos taške.

$$S_{L3G} = S_{T2} - \Delta S_{L3} = 504\,433 - 891,863 = 503,541 \text{ kVA};$$

čia S_{L3G} – galia linijos L3 gale.

Žinodami šia galią, galime apskaičiuoti nuostolius grandinėje nuo vėjo elektrinių iki prijungimo prie skirstomojo tinklo taško.

$$\Delta S_{SIST} = 528,54 - 503,541 = 24,999 \text{ kVA};$$

čia ΔS_{SIST} – sistemos galios nuostoliai.

$$\Delta S_{SIST\%} = \frac{100\% \cdot 24,999 \text{ kVA}}{528,54 \text{ kVA}} = 4,72\%;$$

čia $\Delta S_{SIST\%}$ - sistemos galios nuostoliai.

3.3.4. Įtampų lygiai ir nuostoliai

Srovei tekant laidininkais įtampa laido pradžioje skiriasi nuo įtampos laido gale, atsiranda įtampos nuostoliai dėl laidininko varžų. Norint užtikrinti reikiamą įtampos lygį, bei įsitikinti, kad nuostoliai neviršija leistinų verčių būtina atlikti skaičiavimus.

Šiems skaičiavimams atlikti reikia žinoti laidų, transformatorių varžas, bei įtampą linijos pradžioje, šias vertes paimsime iš ankstesnių skaičiavimų 3.3.1., 3.3.2., ir 3.3.3. poskyriuose. Skaičiavimai atliekami remiantis literatūra [2].

Linijos galo įtampa U_2 randame pagal formulę:

$$U_2 = U_1 - \left(\Delta U^* - \frac{\delta U^2}{2U_1} \right); \quad (20)$$

čia U_1 – įtampa linijos pradžioje, V;

ΔU^* - išilginė įtampos kritimo dedamoji, V;

δU – skersinė įtampos kritimo dedamoji, V.

Išilginė dedamoji randama pagal formulę:

$$\Delta U^* = \frac{P_1 R + Q_1 X}{U_1}; \quad (21)$$

čia P_1 – aktyvioji galia linijos pradžioje, W ;

Q_1 – reaktyvioji galia linijos pradžioje, Var ;

R – aktyvioji linijos varža, Ω ;

X – reaktyvioji linijos varža, Ω .

Skersinė dedamoji randama iš formulės:

$$\delta U^* = \frac{P_1 X - Q_1 R}{U_1}; \quad (22)$$

Pagal pateiktą skaičiavimo metodiką apskaičiuojame įtampų lygius bei nuostolius.

Skaičiavimus pradedame nuo linijos L1, surandame išilginę įtampos dedamąją pagal 21. Formulę:

$$\Delta U^*_{L1} = \frac{250 \text{ kW} \cdot 0,000754 \Omega + 85 \text{ Var} \cdot 0,00094 \Omega}{0,4 \text{ kV}} = 0,671 \text{ V};$$

čia ΔU^*_{L1} – linijos L1 išilginė įtampos dedamoji;

P_{L1} – aktyvioji galia linijos L1 pradžioje;

Q_{L1} – reaktyvioji galia linijos L1 pradžioje;

R_{L1} – aktyvioji linijos L1 varža;

X_{L1} – reaktyvioji linijos L1 varža;

U_{L1P} – įtampa linijos L1 pradžioje.

Pagal 22. Formulę surandame skersinę dedamąją:

$$\delta U^*_{L1} = \frac{250 \text{ kW} \cdot 0,00094 \Omega - 85 \cdot 0,000754 \Omega}{0,4 \text{ kV}} = 0,748 \text{ V};$$

Žinodami skersinę ir išilginę įtampos dedamąsias pagal 20. Formulę surandame įtampą linijos L2 gale:

$$U_{L1G} = 400 \text{ V} - \left(0,671 \text{ V} - \frac{(0,748 \text{ V})^2}{2 \cdot 400 \text{ V}} \right) = 399,33 \text{ V};$$

Įtampos kritimas linijoje:

$$U_{L1P} - U_{L1G} = 400 \text{ V} - 399,33 \text{ V} = 0,67 \text{ V};$$

Analogiškai apskaičiuosime ir kitų linijų įtampos kritimus ir surašysime į 3.5. Lentelę.

Skaičiuodami įtampos kritimą transformatoriuje naudojame tas pačias formules ir 3.3.2. skyriuje apskaičiuotas transformatoriaus varžas. Gavus įtampą pagal pasirinktą įtampos pakopą, norint gauti įtampą už transformatoriaus reikia perskaiciuoti į atitinkamą dydį pagal formulę:

$$U_1 = U_{T1} \frac{U_{N2}}{U_{N1}}; \quad (23)$$

3.5 lentelė. Įtampos lygiai mazguose, bei nuostoliai

Skaičiuojamoji grandis	$\Delta U^*, [\text{V}]$	$\delta U^*, [\text{V}]$	Pradžios įtampa, [V]	Galo įtampa, [V]	Įtampos kritimas, [V]	Įtampos nuostoliai, [%]	
L1	0,671	0,748	400	399,33	0,67	0,168	
L2	7,285	7,949	400	392,794	7,206	1,802	
T1	109,779	317,227	396,062	10 291,7	3,997/104,9	0,999	
L3	17,077	5,143	10 291,7	10 274,6	17,1	0,163	

Iš rezultatų pateiktų 3.5. lentelėje apskaičiuosime bendrą įtampos kritimą iki prijungimo taško.

$$\Delta U_{\%} = \frac{0,67 \text{ V} + 7,206 \text{ V} + 3,997 \text{ V} + \frac{17,1 \text{ V}}{\frac{10\,500 \text{ V}}{400 \text{ V}}}}{400 \text{ V}} \cdot 100\% = 3,131\%;$$

Matome, kad sistemoje įtampos kritimas nesiekia 5%. Tai galime priimti išvadą, kad kabeliai ir transformatoriai yra parinkti teisingai.

3.4. Tinklo parametrų nustatymas su kompiuterine programa

Šiandien, atlikti įvairiausių skaičiavimus yra daug paprasčiau nei kadaise, kadangi yra sukurta begalė kompiuterinių programų galinčių padėti apskaičiuoti sunkiausias lygtis. Energetikos srityje šių

programų taip pat yra sukurta begalė, vienos jų yra laisvai prieinamos, kitos mokamos, vienos sudėtingesnės, kitos paprastesnės.

Viena tokių programų yra SIEMENS PSS/e xplora [3], pilna šios programos versija yra mokama, tačiau SIEMENS gamintojas yra išleidęs nemokamą versiją aukštųjų mokyklų studentams, SIEMENS PSS/e xplora university 33. Šios programos pagalba ištirsiu ir projektuojamo tinklo parametrus.

3.4.1. Tinklo parametrai, kai vartotojų apkrova maksimali

Su kompiuterine programa sumodeliavus skaičiuojamojo tinklo schemą (3. Priedas), gavome galios srautų pasiskirstymo, bei įtampų lygių vertes. Šioje schemoje yra užduotos maksimalios vartotojų apkrovos, kai $P_{max} = 0,98 \text{ MW}$, sąlygos.

Pateiktoje schemoje, skirtingai nei ankstesniuose skaičiavimuose, yra įvertinti galios srautai iš 35/10 TP. Skaičiuojamu atveju, kai vartotojų apkrova maksimali, o generatoriai generuoja 0,5MW galią, elektros energijos trūkumas yra imamas iš tinklo. Naudojamoje programoje 35/10 TP yra kaip balansinis elektros šaltinis ir automatiškai paduoda reikiamą galią į sistemą. 3.2 pav. pateikti generatorių darbo režimai, bei programos apskaičiuota iš tinklo imama galia.

	Bus Number	Bus Name	Id	Area Num	Area Name	Zone Num	Zone Name	Code	VSched (kV)	Remote Bus	In Service	PGen (MW)
	1	VE1	0.4000	1	1	1		-2	0.4000	0	☒	0.2500
	2	VE2	0.4000	1	1	1		-2	1.0000	0	☒	0.2500
	5401	35/10 TP	1	1		1		3	1.0000	0	☒	0.4869
*											☒	

3.2 pav. Iš tinklo imama galia, vartotojų maksimalios apkrovos metu

Iš lentelės matome, kad maksimalios apkrovos metu iš tinklo papildomai imama 0,4869 MW galios. Iš šio rezultato, galime apskaičiuoti galios nuostolius sistemoje. Kurie yra 0,0069 MW, o tai yra 0,7%.

Nagrinėjamu atveju įtampos lygiai mažuose, apskaičiuoti SIEMENS programa, pateikti 3.3 pav.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Code	Voltage (kV)	Angle (deg)	Normal Vmax (kV)	Normal Vmin (kV)	Emergency Vmax (kV)	Emergency Vmin (kV)
1	VE1	0.4	-2	0.3877	2.17	0.4400	0.3600	0.4400	0.3600
2	VE2	0.4	-2	0.3829	1.30	0.4400	0.3600	0.4400	0.3600
3	TP 0.4KV	0.4	2	0.3824	1.21	0.4400	0.3600	0.4400	0.3600
4	TP 10.5KV	10.5	1	9.9846	-0.74	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
5	PRJ TASKAS	10.5	1	9.9679	-0.76	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
1001	Y123	10.5	1	9.9673	-0.77	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
1101	Y120	10.5	1	9.9657	-0.79	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
1401	Y118	10.5	1	9.9755	-1.25	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
1801	Y111	10.5	1	9.9818	-1.24	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
2001	Y119	10.5	1	10.0160	-1.48	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
2301	Y117	10.5	1	10.0262	-1.56	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
2401	Y110	10.5	1	10.0276	-1.55	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
2701	Y124	10.5	1	10.0336	-1.89	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
2901	Y106	10.5	1	10.0353	-1.90	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
3101	Y116	10.5	1	10.0116	-2.17	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
3301	Y107	10.5	1	10.0015	-2.29	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
3401	Y108	10.5	1	10.0090	-2.20	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
3601	Y114	10.5	1	9.9783	-2.56	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
3901	Y115	10.5	1	9.9675	-2.69	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
4001	Y112	10.5	1	9.9638	-2.73	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
4201	Y109	10.5	1	9.9737	-2.61	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
4301	Y103	10.5	1	9.9719	-2.64	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
4501	Y105	10.5	1	10.1444	-1.38	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
4801	Y104	10.5	1	10.2545	-0.99	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
5001	Y113	10.5	1	10.2884	-0.88	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
5301	Y102	10.5	1	10.4440	-0.25	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500

3.3 pav. Įtampų lygiai mazguose, kai vartotojų apkrova maksimali

3.4.2. Tinklo parametrai, kai vartotojų apkrova minimali

Antru atveju, kai vartotojų apkrova minimali $P_{min}=0,4$ MW, minėta programa sudarius skaičiuojamojo tinklo schemą (4. Priedas) gauti kitokie rezultatai. Tuo metu, kai vartotojų apkrova minimali, o generatoriai atiduoda į tinklą 0,5 MW galios, skirstomajame tinkle atsiranda galios perteklius, kuris yra atiduodamas per 35/10 TP į tinklą.

Šiuo atveju, modeliuojant sistemą, 35/10 TP taip pat yra sumodeliuota kaip balastas, kuris atitinkamai, ne generuoja elektros energija, bet suvartoja. Programa apskaičiuoti galios srautai pateikti 3.4 pav.

Bus Name	Id	Area Num	Area Name	Zone Num	Zone Name	Code	VSched (kV)	Remote Bus	In Service	PGen (MW)
VE1 0.4000	1	1		1		-2	0.4000	0	☒	0.2500
VE2 0.4000	1	1		1		-2	1.0000	0	☒	0.2500
10.500	1	1		1		3	1.0000	0	☒	-0.0890

3.4 pav. Į tinklą atiduodama galia, kai vartotojų apkrova minimali.

Iš pateiktų rezultatų matome, kad tuo metu kai vartotojų apkrova minimali, o generatoriai pagamina 0,5 MW galios į tinklą yra atiduodama 0,089 MW galios. Iš šių rezultatų galime daryti išvadą, kad tuo metu sistemos galios nuostoliai yra 0,011 MW, o tai yra 2,2%.

Minimalios apkrovos metų, programa apskaičiuoti, įtampų lygiai mazguose yra pateikti 3.5 pav.

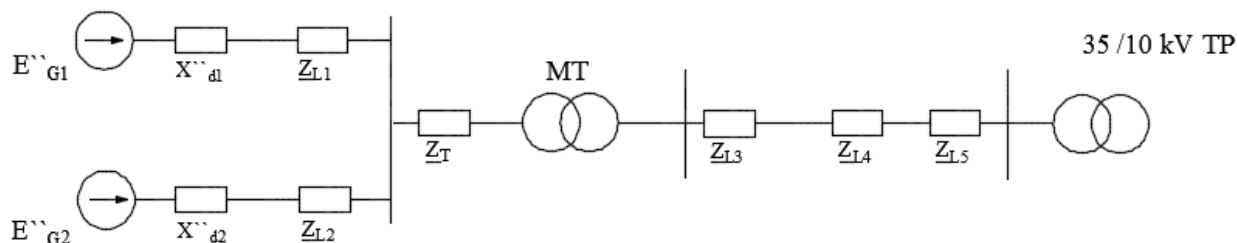
Bus Name	Base kV	Code	Voltage (kV)	Angle (deg)	Normal Vmax (kV)	Normal Vmin (kV)	Emergency Vmax (kV)	Emergency Vmin (kV)
VE1	0.4	-2	0.3787	2.17	0.4400	0.3600	0.4400	0.3600
VE2	0.4	-2	0.3786	1.30	0.4400	0.3600	0.4400	0.3600
TP 0.4KV	0.4	2	0.3786	1.21	0.4400	0.3600	0.4400	0.3600
TP 10.5KV	10.5	1	10.0023	-0.74	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
PRU TASKAS	10.5	1	10.0657	-0.76	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y123	10.5	1	10.0655	-0.77	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y120	10.5	1	10.0649	-0.79	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y118	10.5	1	10.0992	-1.25	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y111	10.5	1	10.1049	-1.24	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y119	10.5	1	10.1523	-1.48	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y117	10.5	1	10.1671	-1.56	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y110	10.5	1	10.1677	-1.55	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y124	10.5	1	10.2021	-1.89	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y106	10.5	1	10.2017	-1.90	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y116	10.5	1	10.1927	-2.17	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y107	10.5	1	10.1888	-2.29	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y108	10.5	1	10.1917	-2.20	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y114	10.5	1	10.1799	-2.56	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y115	10.5	1	10.1758	-2.69	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y112	10.5	1	10.1744	-2.73	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y109	10.5	1	10.1782	-2.61	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y103	10.5	1	10.1775	-2.64	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y105	10.5	1	10.2656	-1.38	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y104	10.5	1	10.3402	-0.99	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y102	10.5	1	10.4646	-0.88	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500
Y113	10.5	1	10.3633	-0.25	11.5500	9.4500	11.5500	9.4500

3.5 pav. Įtampų lygiai mazguose, kai vartotojų apkrova minimali

3.5. TJ srovių skaičiavimas

Trumpasis jungimas, tai normaliomis darbo sąlygomis nenumatytas darbo režimas, kuris įvyksta susijungus atskiroms fazėms, o kai sistema turi įžemintą neutralę įvyksta susijungus vienai arba kelioms fazėms su žeme arba nuliniu laidu. TJ metu srovė smarkiai išauga ir gali viršyti kelias dešimtis kartų normalaus darbo režimo srovę. Dažniausiai TJ įvyksta dėl pažeistos apsauginės izoliacijos, kuri dėl aplinkos poveikio praranda savo izoliacines savybes.

Trumpieji jungimai trifaziame tinkle dažnai yra skaičiuojami pasinaudojant vardinių vienetų skaičiavimo metodiką [2, skyrius 8.8.2.]. Pagal šia metodiką norint apskaičiuoti TJ reikia susidaryti skaičiuojamąją schemą. Pagal projektuojamo parko atstojamąją schemą 2.2. pav. sudaroma skaičiuojamoji schema, kuri pavaizduota 3.2. pav.



3.6 pav. Atstojamoji tinklo schema

3.5.1. Trumpųjų jungimų skaičiavimas iš 35/10 TP pusės

Yra žinoma, kad 35/10 transformatorinės pastotės 10 kV skirstyklos trumpo jungimo srovės $I_{k \max} = 1,313 \text{ kA}$, $I_{k \min} = 1,305 \text{ kA}$.

Žinodami šias sroves galime paskaičiuoti TP 10 kV skirstyklos šynų sekcijos varžą maksimaliame ir minimaliame režimuose:

$$Z_{s \max} = \frac{1,1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k \max}}; \quad (24)$$

čia $Z_{s \max}$ - sistemos varža maksimalaus TJ atveju, Ω ;

$I_{k \max}$ – maksimalus trumpasis jungimas 35/10 TP, skirstykloje, A.

$$Z_{s \min} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k \min}}; \quad (25)$$

čia $Z_{s \min}$ - sistemos varža minimalaus TJ atveju, Ω ;

$I_{k \min}$ – minimalus trumpasis jungimas 35/10 TP skirstykloje, A.

Maksimali trumpojo jungimo srovė yra randama pagal formulę:

$$I_{k \max} = \frac{1,1 \cdot U_p}{\sqrt{3} \cdot \sum \underline{Z}}; \quad (26)$$

čia U_p – pasirinktos pakopos, skaičiuojamoji įtampa, V;

$\sum \underline{Z}$ - skaičiuojamosios dalies varžų suma, Ω .

Minimali trumpojo jungimo srovė yra randama pagal formulę:

$$I_{k \min} = \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot \sum \underline{Z}}; \quad (27)$$

Trumpojo jungimo galia apskaičiuosime pagal formulę:

$$S_{TJ} = \frac{U_n^2}{\sum \underline{Z}}; \quad (28)$$

Trumpojo jungimo grandinės fazinį kampą vėjo elektrinių prijungimo taške apskaičiuosime pagal formulę:

$$\Psi_K = \arctan\left(\frac{\sum X}{\sum R}\right); \quad (29)$$

Pagal aptartą skaičiavimų metodiką atliekame skaičiavimus.

$$Z_{s\max} = \frac{1,1 \cdot 10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 1,313 \text{ kA}} = 5,07 \Omega;$$

čia $Z_{s\max}$ - sistemos varža, maksimalaus TJ atveju;

$I_{k\max}$ – maksimalus trumpasis jungimas, 35/10 TP, skirstykloje.

$$Z_{s\min} = \frac{10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 1,305 \text{ kA}} = 4,645 \Omega;$$

3.6 lentelė. Oro linijų kabeliai

Linijos nr.	Kabelis	Kabelio gyslų skaičius storis, [mm]	Ilgis L, [km]	Kabelio varža R, [Ω]	Kabelio induktyvioji varža X, [Ω]	Kabelio leistinoji ilgalaikė srovė, [A]
4	Esama OL	3Ax70	3,667	0,422	0,33	265
5	Esama OL	3ASx50	11,952	0,595	0,33	210

Oro linijų varžas nuo 35/10 TP iki naujai projektuojamo VE parko prijungimo taško apskaičiuojame pagal 3.6 lentelės duomenis.

$$\underline{Z}_{L4} = (R \cdot jX) \cdot L = (0,422 + j0,33) \cdot 3,667 = 1,621 + j1,21 \Omega = 2,023 \Omega;$$

$$\underline{Z}_{L5} = (R \cdot jX) \cdot L = (0,595 + j0,33) \cdot 11,952 = 7,111 + j3,944 \Omega = 5,917 \Omega;$$

Maksimali TJ srovė MT transformatorinės 10 kV šynų sekcijoje:

$$I_{k\max}^{MT10} = \frac{1,1 \cdot U_P}{\sqrt{3} \cdot (\underline{Z}_{s\max} + \underline{Z}_{L4} + \underline{Z}_{L5} + \underline{Z}_{L3})} = \frac{1,1 \cdot 10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (5,09 + 2,023 + 5,917 + 0,351)} = 0,498 \text{ kA};$$

Minimali TJ srovė MT transformatorinės 10 kV šynų sekcijoje:

$$I_{k \min}^{MT10} = \frac{U_P}{\sqrt{3} \cdot (\underline{Z}_{s \max} + \underline{Z}_{L4} + \underline{Z}_{L5} + \underline{Z}_{L3})} = \frac{10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (5,09 + 2,023 + 5,917 + 0,351)} = 0,453 \text{ kA};$$

TJ galia projektuojamoje MT:

$$S_{TJ} = \frac{(10,5 \text{ kV})^2}{2,023 + 5,917 + 0,351} = 13,29 \text{ MVA};$$

TJ fazinis kampas vėjo elektriniu parko prijungimo taške:

$$\psi_K = \arctan \left(\frac{1,21 + 3,944 + 0,048}{1,621 + 7,11 + 0,3472} \right) = 29,81^\circ \cong 30^\circ;$$

Maksimali trumpo jungimo srovė projektuojamos MT 10 kV šynų sekcijoje, kai trumpas jungimas už transformatoriaus:

$$\begin{aligned} I_{k \max}^{MT} &= \frac{1,1 \cdot U_P}{\sqrt{3} \cdot (\underline{Z}_{s \max} + \underline{Z}_{L4} + \underline{Z}_{L5} + \underline{Z}_{L3} + \underline{Z}_T)} = \frac{1,1 \cdot 10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (5,09 + 2,023 + 5,917 + 0,351 + 6,349)} \\ &= 0,338 \text{ kA}; \end{aligned}$$

Minimali trumpo jungimo srovė projektuojamos MT 10 kV šynų sekcijoje, kai trumpas jungimas už transformatoriaus:

$$\begin{aligned} I_{k \min}^{MT} &= \frac{U_P}{\sqrt{3} \cdot (\underline{Z}_{s \max} + \underline{Z}_{L4} + \underline{Z}_{L5} + \underline{Z}_{L3} + \underline{Z}_T)} = \frac{10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (5,09 + 2,023 + 5,917 + 0,351 + 6,349)} \\ &= 0,307 \text{ kA}; \end{aligned}$$

Maksimali trumpo jungimo srovė projektuojamos MT 0,4 kV šynose tekanti iš tinklo:

$$I_{k \max}^{MT0,4} = I_{k \max}^{MT} \cdot K_T = I_{k \max}^{MT} \cdot \frac{U_{10}}{U_{0,4}} = 0,338 \text{ kA} \cdot \frac{10 \text{ kV}}{0,4 \text{ kV}} = 8,45 \text{ kA};$$

Minimali trumpo jungimo srovė projektuojamos MT 0,4 kV šynose tekanti iš tinklo:

$$I_{k \min}^{MT0,4} = I_{k \min}^{MT} \cdot K_T = I_{k \min}^{MT} \cdot \frac{U_{10}}{U_{0,4}} = 0,307 \text{ kA} \cdot \frac{10 \text{ kV}}{0,4 \text{ kV}} = 7,675 \text{ kA};$$

3.5.2. Trumpo jungimo srovių skaičiavimas įvertinus projektuojamas vėjo elektrines

Skaičiuojant TJ įvertinus vėjo elektrines turime priimti, kad X''_{d1}, X''_{d2} – pirmo ir antro generatoriaus trumpalaikės pereinamosios varžos yra lygios 0,2. Taip pat priimame, kad skaičiuojamoji įtampa $U_p = 10,5 \text{ kV}$.

Be to, skaičiuojant trumpąjį jungimą reikės apskaičiuoti generatoriaus varžą pagal pasirinktą įtampos pakopą.

$$X_G = X''_d \cdot \frac{U_p}{S_G}; \quad (30)$$

$$X_G = 0,2 \cdot \frac{10\,500^2}{264\,270} = 83,47 \, \Omega;$$

Kadangi abiejų elektrinių parametrai identiški, tai $X_{G1} = X_{G2} = 83,47 \, \Omega$

Pagal 26. ir 27. formules skaičiuosime maksimalias ir minimalias trumpojo jungimo sroves, įvertinus vėjo elektrines.

Maksimali TJ srovė 35/10 TP šynose:

$$\begin{aligned} I_{k \max}^{35/10TP} &= \frac{1,1 \cdot U_p}{\sqrt{3} \cdot (X_{G1} + \underline{Z}_{L1} + \underline{Z}_{L4} + \underline{Z}_{L5} + \underline{Z}_{L3} + \underline{Z}_T)} + \frac{1,1 \cdot U_p}{\sqrt{3} \cdot (X_{G2} + \underline{Z}_{L2} + \underline{Z}_{L4} + \underline{Z}_{L5} + \underline{Z}_{L3} + \underline{Z}_T)} \\ &= \frac{1,1 \cdot 10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (83,47 + 0,013 + 2,023 + 5,917 + 0,351 + 6,349)} + \\ &\quad \frac{1,1 \cdot 10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (83,47 + 0,0012 + 2,023 + 5,917 + 0,351 + 6,349)} = 0,136 \text{ kA}; \end{aligned}$$

Minimali trumpo jungimo srovė projektuojamos MT 10 kV šynų sekcijoje, kai trumpas jungimas už transformatoriaus:

$$\begin{aligned} I_{k \min}^{35/10TP} &= \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot (X_{G1} + \underline{Z}_{L1} + \underline{Z}_{L4} + \underline{Z}_{L5} + \underline{Z}_{L3} + \underline{Z}_T)} + \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot (X_{G2} + \underline{Z}_{L2} + \underline{Z}_{L4} + \underline{Z}_{L5} + \underline{Z}_{L3} + \underline{Z}_T)} \\ &= \frac{1,1 \cdot 10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (83,47 + 0,013 + 2,023 + 5,917 + 0,351 + 6,349)} \\ &\quad + \frac{1,1 \cdot 10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (83,47 + 0,0012 + 2,023 + 5,917 + 0,351 + 6,349)} = 0,124 \text{ kA}; \end{aligned}$$

Maksimali trumpo jungimo srovė generatoriaus gnybtuose 0,4 kV pusėje už transformatoriaus:

$$I_{k \max}^{gener} = I_{k \max}^{35/10TP} \cdot \frac{U_2}{U_1} = 0,136 \text{ kA} \cdot \frac{10 \text{ kV}}{0,4 \text{ kV}} = 3,4 \text{ kA};$$

Minimali trumpo jungimo srovė generatoriaus gnybtuose 0,4kV pusėje už transformatoriaus:

$$I_{k \min}^{gener} = I_{k \min}^{35/10TP} \cdot \frac{U_2}{U_1} = 0,124 \text{ kA} \cdot \frac{10 \text{ kV}}{0,4 \text{ kV}} = 3,1 \text{ kA};$$

Maksimali trumpo jungimo srovė, įvertinus trumpą jungimą iš tinklo:

$$I_{k \max}^{VE} = I_{k \max}^{gener} + I_{k \max}^{Tinklo} = 3,4 \text{ kA} + 8,45 \text{ kA} = 11,85 \text{ kA};$$

Minimali trumpo jungimo srovė, įvertinus trumpą jungimą iš tinklo:

$$I_{k \min}^{VE} = I_{k \min}^{gener} + I_{k \min}^{Tinklo} = 3,1 \text{ kA} + 7,675 \text{ kA} = 10,775 \text{ kA};$$

Trumpo jungimo srovė 35/10 kV TP prijungus (įvertinus prijungimo taške prijungtas dvi po 250 kW vėjo elektrines) bus:

Maksimali trumpo jungimo srovė 35/10 kV TP:

$$I_{k \max}^{35/10TP+VE} = I_{k \max}^{35/10TP} + I_{k \max}^{gener} = 1,313 \text{ kA} + 0,136 \text{ kA} = 1,449 \text{ kA};$$

Minimali trumpo jungimo srovė 35/10 kV TP:

$$I_{k \min}^{35/10TP+VE} = I_{k \min}^{35/10TP} + I_{k \min}^{gener} = 1,305 \text{ kA} + 0,124 \text{ kA} = 1,429 \text{ kA};$$

Maksimali trumpo jungimo srovė iš VE projektuojamoje MT 10 kV pusėje:

$$\begin{aligned} I_{k \max}^{VE MT} &= \frac{1,1 \cdot U_P}{\sqrt{3} \cdot (\underline{X}_{G1} + \underline{Z}_{L1} + \underline{Z}_T)} + \frac{1,1 \cdot U_P}{\sqrt{3} \cdot (\underline{X}_{G2} + \underline{Z}_{L2} + \underline{Z}_T)} \\ &= \frac{1,1 \cdot 10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (83,47 + 0,013 + 6,349)} + \frac{1,1 \cdot 10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (83,47 + 0,0012 + 6,349)} = 0,148 \text{ kA}; \end{aligned}$$

Maksimali trumpo jungimo srovė iš VE ir tinklo projektuojamoje MT 10 kV pusėje:

$$I_{k \max}^{MT} = I_{k \max}^{VE \text{ MT}} + I_{k \max}^{tinklo} = 0,148 \text{ kA} + 0,498 \text{ kA} = 0,646 \text{ kA};$$

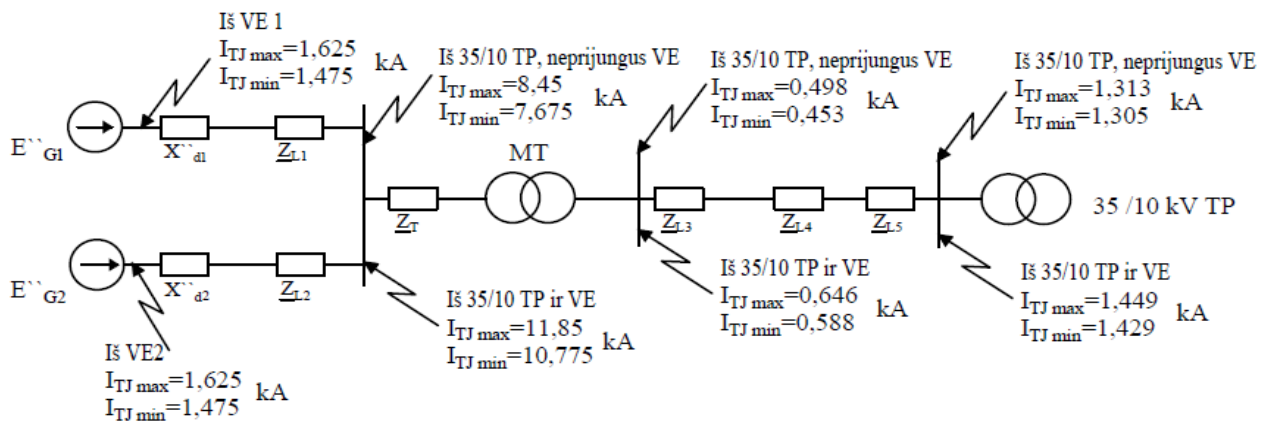
Minimali trumpo jungimo srovė iš VE projektuojamoje MT 10 kV pusėje:

$$\begin{aligned} I_{k \min}^{VE \text{ MT}} &= \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot (\underline{X}_{G1} + \underline{Z}_{L1} + \underline{Z}_T)} + \frac{U_p}{\sqrt{3} \cdot (\underline{X}_{G2} + \underline{Z}_{L2} + \underline{Z}_T)} \\ &= \frac{10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (83,47 + 0,013 + 6,349)} + \frac{10,5 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot (83,47 + 0,0012 + 6,349)} = 0,135 \text{ kA}; \end{aligned}$$

Minimali trumpo jungimo srovė iš VE ir tinklo projektuojamoje MT 10 kV pusėje:

$$I_{k \min}^{MT} = I_{k \min}^{VE \text{ MT}} + I_{k \min}^{tinklo} = 0,135 \text{ kA} + 0,453 \text{ kA} = 0,588 \text{ kA};$$

Gauti rezultatai pateikti 3.7 pav.



3.7 pav. Trumpojo jungimo srovės

3.5.3. Smūgio srovių skaičiavimas

Smūgio srovės skaičiuosime tik pagal maksimalaus trumpojo jungimo atvejį. Šių srovių skaičiavimai atliekami pagal literatūroje [4, skyrius 7.2] pateikta metodiką.

Smūgio srovės išraišką galima užrašyti taip:

$$i_{sm} = \sqrt{2} * I_K^{(3)} k_{sm}; \quad (31)$$

čia k_{sm} - smūgio koeficientas, kuris priklauso nuo aperiodinės gesimo pastoviosios ir gali apskaičiuojamas pagal 32. formulę:

$$k_{sm} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}; \quad (32)$$

čia T_a - Laiko pastovioji, randama taip:

$$T_a = \frac{X_{\Sigma}}{\omega R_{\Sigma}}; \quad (33)$$

Varžos buvo apskaičiuotos ankstesniuose skaičiavimuose.

Apskaičiuojame smūgio srove MT 10 kV šynose, iš tinklo.

Suminės varžos MT 10 kV pusėje gaunamos tokios:

$$\begin{aligned} R_{10kV\Sigma} &= R_S + R_{L3} + R_{L4} + R_{L5} = 0 + 0,3472 + 1,621 + 7,111 = 9,079 \, \Omega; \\ X_{10kV\Sigma} &= X_S + X_{L3} + X_{L4} + X_{L5} = 5,07 + 0,048 + 1,21 + 3,944 = 10,272 \, \Omega; \end{aligned}$$

Pagal 33. formulę apskaičiuojame laiko pastoviąją. $\omega = 2\pi f, f = 50\text{Hz}; \omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314\text{rad/s}$.

$$T_a = \frac{10,272}{314 \cdot 9,079} = 0,003603 \, \text{s};$$

Apskaičiuojame smūgio koeficientą:

$$k_{sm} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,0057}} = 1,062;$$

Smūgio srove MT 10kV pusėje gauname:

$$i_{sm}^{MT10} = \sqrt{2} * I_{k\max}^{MT10} k_{sm} = \sqrt{2} \cdot 0,498 \, \text{kA} \cdot 1,062 = 0,747 \, \text{kA};$$

Pagal aptartą metodiką apskaičiuotas smūgio srovės surašome į 3.7 lentelę.

3.7 lentelė. Smūgio srovės

Skaičiuojamoji grandis	Laiko pastovioji, T_a [s]	Smūgio koeficientas, k_{sm}	Smūgio srovė, [kA]
MT 10kV šynos, smūgio srovė iš tinklo	0,0036	1,062	0,747
MT 0,4kV šynos smūgio srovė iš tinklo	0,0051	1,141	13,654
MT 0,4kV šynos, smūgio srovė iš VE	0,053	1,827	8,783
MT 10kV šynos, smūgio srovė iš VE	0,453	1,978	0,414
MT 10kV šynos, suminė smūgio srovė iš tinklo ir VE			1,161
MT 0,4kV šynos, suminė smūgio srovė iš tinklo ir VE			22,437

3.6. Komutacinių aparatų ir laidininkų parinkimas

Komutaciniai aparatai reikalingi elektros srovei prijungi ir atjungti, o laidininkai srovei parduoti. Jie turi būti parinkti pagal normalias darbo sąlygas, tačiau įvertinus ir po avarinį režimą, bei turi būti tikrinami TJ sąlygomis.

Aparatai ir laidininkai parenkami pagal darbo režimo sąlygas [4, skyrius 8]. Pirmoji sąlyga, kuri nėra pakankama, tačiau yra būtina:

$$I_N < I_l; \quad (34)$$

čia I_N - vardinė srovė, A;

I_l – maksimali leistina srovė, A.

Antroji sąlyga pagal, kurią būtina patikrinti šynas yra maksimalaus įšilimo sąlyga, kuri bus tenkinama jei parinkti laidininkai tenkins sąlygą:

$$I'_l = I_l \sqrt{\frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{\vartheta_1 - \vartheta_{0N}}}; \quad (35)$$

čia ϑ_1 ilgalaikė leistinoji temperatūra, °C;

ϑ_0 -aplinkos temperatūra, °C;

ϑ_{0N} - aplinkos vardinė temperatūra, ϑ_{0N} .

Trečioji sąlyga yra elektrodinaminio atsparumo, kuri yra tenkinama kai:
standžioms šynoms:

$$\sigma_{sk} \leq \sigma_l; \quad (36)$$

čia σ_l – leistinas mechaninis medžiagos įtempis, Pa;

σ_{sk} – įtempimo jėga, Pa.

$$\sigma_{sk} = \frac{M}{W}; \quad (37)$$

čia M – Lenkimo momentas, Nm;

W – Atsparumo momentas, Nm.

Elektrodinaminio atsparumo sąlyga izoliatoriams:

$$F_{sk} \leq F_l; \quad (38)$$

čia F_l – leistinoji jėga.

$$F_{sk} = kql; \quad (39)$$

čia k – pataisos koeficientas, kai šyna tvirtinama plokštuma $k=1$;

q – veikianti vienetinė jėga;

l – yra atstumas tarp izoliatorių, kuris išreiškiamas iš 40. Formulės.

$$200 \geq \frac{k}{l^2} \sqrt{\frac{J}{S}}; \quad (40)$$

čia J – šynos skerspjūvio inercijos momentas apie ašį, statmeną veikiančiai jėgai, $\text{kg} \cdot \text{cm}^2$;

k – koeficientas, kuris aliumininėms šynoms yra $173,2 \text{ Hz} \cdot \text{m}^2/\text{cm}$.

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12}; \quad (41)$$

$$q = \sqrt{3} \frac{I_{s10kV}^2}{a} \cdot 10^{-7}; \quad (42)$$

čia a – atstumas tarp fazių, kuri yra lygus 0,4 - 0,8m.

Lenkimo momentas randamas pagal formulę:

$$M = \frac{q \cdot l^2}{10}; \quad (43)$$

Atsparumo momentas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}; \quad (44)$$

Elektrodinaminio atsparumo sąlyga aparatams:

$$i_s \leq i_d; \quad (45)$$

i_d - dinaminio atsparumo srovė.

Dinaminis atsparumas tikrinamas tik standiems laidininkams.

Ketvirtoji terminio atsparumo sąlyga:

$$S \geq S_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}; \quad (46)$$

čia B_K - šiluminis impulsas, kuris randamas pagal 47. Formulę;

C - konstanta, kuri imama iš žinytų.

$$B_K = I_K^2(t_{atj} + T_a); \quad (47)$$

čia t_{atj} – linijos atjungimo laikas, s.

Be to, tikrinant šynų dinaminį atsparumą reikia patikrinti ar atstumas tarp izoliatorių yra mažesnis už maksimalų, tai padaroma pagal 48. formulę.

$$l_{max} = \sqrt{\frac{10 \cdot W \cdot \sigma_l}{q}}; \quad (48)$$

Izoliatoriams būtina paskaičiuoti leistiną galvutės apkrovą, kurią randame pagal 49. formulę.

$$F_l = 0,6 \cdot F_s; \quad (49)$$

čia F_s – izoliatoriaus suardymo jėga, kuri randama izoliatoriaus specifikacijose.

3.6.1. 10kV šynų ir izoliatorių parinkimas

10kV šynų maksimali srovė nebus didesnė, nei kabelio L3 (Al, 3x35/16 mm²), kuri yra lygi 125A. Parenkamos vien juostės aliumininės šynos, kurios parametrai $h=10$ mm, $b=10$ mm, $S=100$ mm², $I_l=300$ A;

Pagal aptartą metodiką, patikrinsime ar šynos tenkina parinkimo sąlygas.

Pirmoji sąlyga yra tikrinama pagal 34. formulę:

$$125 < 300 A;$$

ši sąlyga yra tenkinama.

Antroji maksimalaus įšilimo sąlyga tikrinama pagal 35. formulę. Ir iš (5. Priede) pateiktos lentelės gavome, kad $\vartheta_1 = 70^\circ\text{C}$, taip pat priimame, kad aplinkos temperatūrą $\vartheta_0 = 35^\circ\text{C}$, o vardinė aplinkos temperatūra $\vartheta_{0N} = 25^\circ\text{C}$.

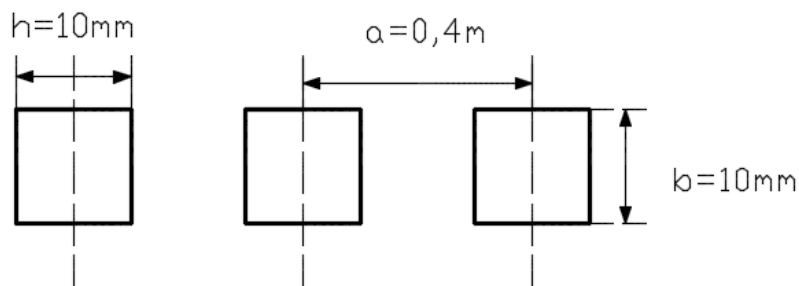
$$I'_l = 300 \sqrt{\frac{70 - 35}{70 - 25}} = 264,57 A;$$

Gautą reikšmę tikriname pagal pirmąją sąlyga:

$$125A < 264,57 A;$$

Terminio įšilimo sąlyga tenkinama.

Tikriname trečiąją elektrodinaminio įšilimo sąlygą. Priimame, kad šynos yra išdėstytos lygiagrečiai, o atstumas tarp jų centrų $a=0,4$ m, pavaizduota 3.8 pav.



3.8 pav. 10 kV šynų išdėstymas

Skaičiuojame inercijos momentą:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1,0 \cdot 1,0^3}{12} = 0,833 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2;$$

Iš 40. formulės išsireiškiamo atstumą tarp izoliatorių. Koeficientas aliumininėms šynoms $k = 173,2 \text{ Hz} \cdot \text{m}^2/\text{cm}$, o pagal išmatavimus $S=1\text{cm}^2$, tai atstumas tarp izoliatorių:

$$200 \geq \frac{173,2}{l^2} \sqrt{\frac{0,833}{1}} \rightarrow l \leq 0,5 \text{ m};$$

Pagal 42. formulę apskaičiuojame veikiančią vienetinę jėgą. Smūgio srovė 10 kV šynose $I_{sm}^{MT10} = 1,161 \text{ kA}$, atstumas tarp izoliatorių $a=0,4\text{m}$.

$$q = \sqrt{3} \cdot \frac{(1,161 \cdot 10^3)^2}{0,4} \cdot 10^{-7} = 0,584 \text{ N/m};$$

Lenkimo momentas apskaičiuojamas pagal 43. formulę:

$$M = \frac{0,584 \cdot 0,5^2}{10} = 0,015 \text{ Nm};$$

Atsparumo momentą apskaičiuojame pagal 44. formulę:

$$W = \frac{1 \cdot 1^2}{6} = 0,166 \text{ Nm};$$

Bei galiausiai apskaičiuojame įtempimo jėga pagal 37. Formulę:

$$\sigma_{sk} = \frac{0,015}{0,166} = 0,09 \text{ MPa};$$

Leistinas mechaninis aliumininių šynų įtempimas yra $\sigma_l = 82,3 \text{ MPa}$ [1]. Trečioji sąlyga tenkinama, nes $\sigma_{sk} = 0,09 \text{ MPa} < \sigma_l = 82,3 \text{ MPa}$.

Tikriname ketvirtą terminio atsparumo sąlyga.

Skaičiuojame šiluminį impulsą pagal 47. formulę, priimame, kad $t_{atj} = 0,2 \text{ s}$.

$$B_K = (0,646 \cdot 10^3)^2(0,2 + 0,453) = 273 \text{ k}(A^2s);$$

Skačiuojame minimalų skerspjūvio plotą. Aliuminėms šynoms konstanta $C = 95 \text{ A} \cdot \text{s}^{0,5} / \text{mm}^2$.

$$S_{min} = \frac{\sqrt{273 \cdot 000}}{95} = 53,6 \text{ mm}^2;$$

Galime teigti, kad ketvirtoji sąlyga tenkinama, nes $S = 100 \text{ mm}^2 \geq S_{min} = 53,6 \text{ mm}^2$.

Gautus rezultatus surašome į 3.8 lentelę.

3.8 lentelė. 10 kV šynų parinkimas

Parinkimo sąlyga	Skaiciavimų duomenys	Sąlygos tenkinimas
$I_N < I_l$;	125 A < 300 A	Tenkinama
$I_N < I_{l'}$;	125 A < 264,57 A	Tenkinama
$\sigma_{sk} \leq \sigma_l$;	0,09 MPa < 82,3 MPa	Tenkinama
$S \geq S_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}$;	$100 \text{ mm}^2 > 53,6 \text{ mm}^2$	Tenkinama

Parinkame izoliatorius ŠF10 G (6. Priedas). Jų nominali įtampa $U_N=10 \text{ kV}$, izoliatorių suardanti jėga $F_S=4 \text{ kN}$, aukštis 140 mm.

Tikriname ar atstumas tarp izoliatorių yra mažesnis už maksimalų, tai padaroma pagal 48. Formulę.

$$l_{max} = \sqrt{\frac{10 \cdot 0,166 \cdot 82,3}{0,584}} = 15,295 \text{ m};$$

Patikriname izoliatoriaus dinaminio atsparumo sąlygą, $k=1$ pataisos koeficientas, kai šyna tvirtinama plokštuma:

$$F_{sk} = 1 \cdot 0,584 \cdot 0,5 = 0,292 \text{ N};$$

Leistiną izoliatoriaus galvutės apkrovą, kurią randame pagal 49. formulę.

$$F_l = 0,6 \cdot 4 = 2,4 \text{ kN};$$

Izoliatoriai parinkti teisingai, sąlyga tenkinama $F_{sk} = 0,292 \text{ N} \leq 2,4 \text{ kN}$;

Prenkami TF-16-01 izoliatoriai (7. Priedas), kurių nominali įtampa $U_n=0,4$ kV, suardymo galia $F_s=6$ kN, aukštis 86 mm. Gautus rezultatus surašome į 3.9 lentelę.

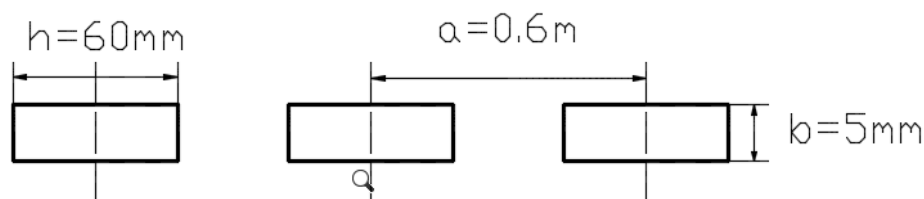
3.9 lentelė. 10kV izoliatorių parinkimas

Parinkimo sąlyga	Skaičiavimų duomenys	Sąlygos tenkinimas
$F_{sk} < F_l;$	0,292 N < 2,4 kN	Tenkinama

3.6.2. 0,4kV šynų ir izoliatorių parinkimas

Pagal 3.6.1 punkte aptartą skaičiavimų metodiką parenkame ir patikriname 0,4kV, kV šynas, bei izoliatorius. Rezultatai pateikti 3.10 ir 3.11 lentelėse.

0,4 kV šynų parinkimą apsprendžia L1 ir L2 (Cu 3x240/120 mm²) kabeliai, kuriu $I_{max}=517$ A. Parenkamos varinės, $h = 60$ mm, $b = 5$ mm, $S = 300$ mm², $I_l = 700$ A, šynos. Šynų išdėstymas pateiktas 3.9 pav.



3.9 pav. 0,4 kV šynų išdėstymas

3.10 lentelė. 0,4 kV šynų parinkimas

Parinkimo sąlyga	Skaičiavimų duomenys	Sąlygos tenkinimas
$I_N < I_l;$	517 A < 700 A	Tenkinama
$I_N < I_l;$	475 A < 639 A	Tenkinama
$\sigma_{sk} \leq \sigma_l;$	7,269 MPa < 148,14 MPa	Tenkinama
$S \geq S_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C};$	300 mm ² > 35,69 mm ²	Tenkinama

Prenkami TF-16-01 izoliatoriai (7. Priedas), kurių nominali įtampa $U_N=0,4$ kV, suardymo galia $F_s=6$ kN, aukštis 86 mm.

3.11 lentelė. 0,4kV izoliatorių parinkimas

Parinkimo sąlyga	Skaičiavimų duomenys	Sąlygos tenkinimas
$F_{sk} < F_l;$	178,024 N < 3,6 kN	Tenkinama

3.6.3. 10kV galios skyriklio su automatiniu valdymo sekcionavimo įrenginiu parinkimas

10kV grandinės komutavimui naudojamas galios skyriklis, šis prietaisas naudojamas darbo srovėms įjungti ir išjungti. Galios skyriklio su automatiniu valdymo sekcionavimo įrenginiu privalumai yra nuotolinio valdymo ir stebėjimo sistemos, kurios turi integruotas srovės ir įtampos matavimo funkcijas duomenims registruoti.

Parinkamas Schneider U series galios skyriklis su automatiniu sekcionavimo įrenginiu, kurio nominali įtampa $U_N=15$ kV, vardinė srovė $I_N=400$ A, trumpojo jungimo srovė (1s) $I_K=12,5$ kA, smūginė srovė $I_{sm}=31,5$ kA. Šis įrenginys bus tvirtinamas prie atšakinės atramos, prijungimo prie skirstomojo tinklo taške.

Patikriname ar parinktas galios skyriklis tenkina parinkimo sąlygas. Rezultatai pateikiami 3.12 lentelėje.

3.12 lentelė. 10 kV galios skyriklio parinkimas

Parinkimo sąlyga	Skaičiavimų duomenys	Sąlygos tenkinimas
$U_{ir} \leq U_N$	$U_{ir} = 10,5 \text{ kV} \leq U_N = 15 \text{ kV};$	Tenkinama
$I_{max} \leq I_N$	$I_{max} = 125 \text{ A} \leq I_N = 400 \text{ A};$	Tenkinama
$i_{sm} \leq i_d$	$i_{sm} = 1,161 \text{ kA} \leq i_d = 31,5 \text{ kA};$	Tenkinama
$B_K \leq I_T^2 t_T$	$B_K = 273 \text{ k(A}^2\text{s)} \leq I_T^2 t_T = (12,5 \cdot 10^3)^2 \cdot 1$ $= 156,25 \cdot 10^3 \text{ kA}^2\text{s}$	Tenkinama

3.6.4. 10kV saugiklio parinkimas

Saugikliai – skirti elektros tiekimo linijų apsaugai nuo perkrovų ir trumpų jungimų, tai pats ekonomiškiausias sprendimas dėl mažos kainos, paprastumo aptarnavime ir mažų gabaritinių dydžių. Kiti privalumai yra maži galios nuostoliai, pasiekiami dėl mažo saugiklio šilimo, labai atsparūs drėgmei, galima naudoti vidaus, bei lauko sąlygomis, taip pat patikimas veikimas.

10 kV pusėje parinktas naudoti galios skyriklis, šis įrenginys puikiai tinka grandinės komutavimui, tačiau papildomai apsaugai nuo perkrovų, bei trumpųjų jungimų patartina naudoti saugiklius.

Mūsų sistemoje, transformatoriaus išėjime, 10 kV pusėje, skaičiuojamoji srovė $I_{sk}=29,04$ A. Pagrindiniai kriterijai pagal kuriuos parenkami saugikliai yra didžiausia darbinė įtampa, nominali srovė, kurią saugikliai praleidžia neatjungiami, taip pat minimali atjungimo srovė, bei nominali atjungimo srovė.

Prenkamas 40 A PT112-10-40-31,5Y1 (8. Priedas) saugiklis. Saugiklio parinkimo sąlygos pateikiamos 3.13 lentelėje.

3.13 lentelė. 10 kV saugiklio parinkimas

Parinkimo sąlyga	Skaičiavimų duomenys	Sąlygos tenkinimas
$U_{ir} \leq U_N$	$U_{ir} = 10,5 \text{ kV} \leq U_N = 12 \text{ kV};$	Tenkinama
$I_{max} \leq I_N$	$I_{max} = 29,04 \text{ A} \leq I_N = 40 \text{ A};$	Tenkinama
$I_{max} \leq I_{min,atj}$	$I_{max} = 29,4 \text{ A} \leq I_{min,atj} = 400 \text{ A};$	Tenkinama
$I_K \leq I_{atj.N}$	$I_K = 0,646 \text{ kA} \leq I_{atj.N} = 31,5 \text{ kA};$	Tenkinama

3.6.5. 0,4 kV automatinių jungiklių parinkimas

Automatinis jungiklis, tai žemos įtampos, iki 1 kV, komutavimo įrenginys. Šie įrenginiai turi įmontuotas apsaugas nuo trumpojo jungimo bei perkrovų.

Projektuojamoje sistemoje, automatiniai jungikliai bus statomi ant kiekvienos VE linijos, prieš prijungiant prie MT šynų, bei 0,4 kV šynos su transformatoriumi bus jungiamos per automatinį jungiklį.

Linijose L1 ir L2 jungiančiose VE1 ir VE2 su MT 0,4 kV šynomis, normalaus ir poavarinio darbo režimai yra labai panašūs, todėl ir automatiniai jungikliai bus parenkami tokie patys.

Prenkamas HAGER HND400H 400 A tripolis automatinis D klasės jungiklis (9. Priedas). Parinkimo sąlygos tikrinamos 3.14 lentelėje.

3.14 lentelė. 0,4 kV VE1 ir VE2 automatinių jungiklių parinkimas

Parinkimo sąlyga	Skaičiavimų duomenys	Sąlygos tenkinimas
$U_{ir} \leq U_N$	$U_{ir} = 0,4 \text{ kV} \leq U_N = 0,69 \text{ kV}$	Tenkinama
$I_{max} \leq I_N$	$I_{max} = 381,44 \text{ A} \leq I_N = 400 \text{ A}$	Tenkinama
$I_K \leq I_{atjN}$	$I_K = 1,625 \text{ kA} \leq I_{atjN} = 50 \text{ kA}$	Tenkinama
$i_{sm} \leq i_d$	$i_{sm} = 22,437 \text{ kA} \leq i_d = 88 \text{ kA}$	Tenkinama
$B_K \leq I_T^2 t_T$	$B_K = 35530 \text{ kA}^2\text{s} \leq I_T^2 t_T = (50 \cdot 10^3)^2 \cdot 1,5$ $= 3750 \cdot 10^6 \text{ kA}^2\text{s}$	Tenkinama

0,4 kV pusėje prieš transformatorių parenkamas HAGER HNE800H 800A D klasės tripolis automatinis jungiklis (10. Priedas). Parinkimo sąlygos tikrinamos 3.15 lentelėje.

3.15 lentelė. 0,4 kV automatinio jungiklio prieš transformatorių parinkimas

Parinkimo sąlyga	Skaičiavimų duomenys	Sąlygos tenkinimas
$U_{ir} \leq U_N$	$U_{ir} = 0,4 \text{ kV} \leq U_N = 0,69 \text{ kV}$	Tenkinama
$I_{max} \leq I_N$	$I_{max} = 762,88 \text{ A} \leq I_N = 800 \text{ A}$	Tenkinama
$I_K \leq I_{atjN}$	$I_K = 11,85 \text{ kA} \leq I_{atjN} = 50 \text{ kA}$	Tenkinama
$i_{sm} \leq i_d$	$i_{sm} = 22,437 \text{ kA} \leq i_d = 88 \text{ kA}$	Tenkinama
$B_K \leq I_T^2 t_T$	$B_K = 35530 \text{ kA}^2\text{s} \leq I_T^2 t_T = (50 \cdot 10^3)^2 \cdot 1,5$ $= 3750 \cdot 10^6 \text{ kA}^2\text{s}$	Tenkinama

3.7. Apsauga nuo viršįtampių ir įžeminimo kontūras

Viršįtampis – tai laikinas elektromagnetinio lauko energijos perteklius elektrinės grandinės dalyje. Jie atsiranda dėl atmosferinių iškrovų ir pereinamųjų procesų didelės srovės komutaciniuose įrenginiuose. Nesiimant reikiamų apsaugos priemonių gresia pavojus sistemos elementams, bei elektros vartotojų prietaisams buityje. Norint apsaugoti nuo jų žalingo poveikio būtina naudoti viršįtampių ribotuvus.

Viršįtampių ribotuvas tai elementas, kurio varža smarkiai priklauso nuo įtampos ant jo gnybtų. Tai be kibirkštinis netiesinis elementas. Atsiradus viršįtampiui toje grandinės dalyje, kurioje yra sumontuotas viršįtampių ribotuvas, varistorinio elemento varža staiga smarkiai sumažėja iki 0,01 mΩ ir

jis tampa laidininku, praleisdamas žalingą viršįtampį į žeminimo kontūrą. Taip apsaugodamas jautrius elektros imtuvus nuo žalingo poveikio. Normalaus darbo režimu viršįtampių ribotuvo puslaidininkis elementas būna nelaidus, jo varža siekia iki 100 MΩ.

Kad viršųtampių ribotuvai būtų tinkamai išnaudoti, reikalingas žeminimo kontūras. Žeminimo kontūro varžos yra reglamentuotos elektros tinklų statybos taisyklėse [5]. Visos metalinės elektros įrenginių dalys, normaliai neturinčios įtampos turi būti žemintos, t.y. prijungtos prie žeminimo kontūro. Žeminimui naudojamas lankstus varinis, 16 mm² kabelis.

3.7.1. MT žeminimo kontūras ir viršųtampių ribotuvai

Viršųtampių ribotuvai yra parenkami pagal nominalią darbo įtampą. 10 kV pusėje parenkamas SGA 1012.10, 10 kV C(II)klasės viršųtampių ribotuvas (11. Priedas). Parinkimo sąlygos pateiktos 3.16 lentelėje.

3.16 lentelė. 10 kV pusės viršųtampių ribotuvų parinkimo sąlygos

Parinkimo sąlyga	Skaičiavimų duomenys	Sąlygos tenkinimas
$U_{ir} \leq U_N$	$U_{ir} = 10,5 \text{ kV} \leq U_N = 10,5 \text{ kV}$	Tenkinama

0,4 kV pusėje prieš šynas parenkamas LDY-40B B(I)klasės viršųtampių ribotuvas (12. Priedas). Parinkimo sąlygos pateiktos 3.17 lentelėje.

3.17 lentelė. 0,4 kV pusės viršųtampių ribotuvų parinkimo sąlygos

Parinkimo sąlyga	Skaičiavimų duomenys	Sąlygos tenkinimas
$U_{ir} \leq U_N$	$U_{ir} = 0,4 \text{ kV} \leq U_N = 0,42 \text{ kV}$	Tenkinama

MT transformatorinės žeminimo kontūro varža turi būti $R_{MT} \leq 2,5 \Omega$. Kadangi prie jo jungiamas šaltinio apsauginio (PE) bei apsauginio nulinio (PEN) laidininkai. Priimame, kad gruntas molis ir jo savitoji varža $\rho = 70 \Omega \cdot m$. Žeminimo kontūro horizontalias juostas projektuojamos 1 m atstumu nuo MT sienų. Žeminimo strypai neizoliuoto necinkuoto plieninio laidininko, skersmuo 10 mm, ilgis 2 m. Žeminimo juosta parinkta plieninė 3x120 mm, bendras jos ilgis 19,8 m.

Įžeminimo kontūro, kuris sudarytas iš vertikalių įžeminimo strypų, kurie sujungti horizontaliomis įžeminimo juostomis, varža apskaičiuojama pagal pateiktas formules, ši metodika sudaryta remiantis literatūra [7].

Vertikalių strypų varža apskaičiuojama pagal 50. formulę:

$$R_V = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \left[\frac{4l(2t + l)}{d(4t + l)} \right]; \quad (50)$$

čia l – vertikalių įžemiklių ilgis, m;

d – vamzdžio skersmuo, m;

t – vertikalaus įžemiklio įgilinimas į gruntą, m.

Horizontalių juostų varža apskaičiuojama:

$$R_H = \frac{\rho}{\pi l} \ln \left(\frac{1,5l}{\sqrt{bt}} \right); \quad (51)$$

čia l – horizontalios juostos ilgis, m;

b – plieninės juostos arba pamato plotis, m;

t – plieninės juostos įgilinimas į gruntą, m.

Pagal pateiktas formules apskaičiuojame įžeminimo kontūro varžą.

Vertikalaus strypo varža:

$$R_V = \frac{70}{2 \cdot 3,14 \cdot} \ln \left[\frac{4 \cdot 19,8(2 \cdot 0,7 + 2)}{10^{-3}(4 \cdot 2 + 2)} \right] = 48,166 \, \Omega;$$

Pasinaudoję lygiagrečios varžų jungimo taisykle apskaičiuojame aštuonių vertikalių strypų varžą:

$$R_{\Sigma V} = \frac{1}{R_{V1}} + \frac{1}{R_{V2}} + \dots + \frac{1}{R_{V8}} = \frac{1}{48,166} + \frac{1}{48,166} + \dots + \frac{1}{48,166} = 6,021 \, \Omega;$$

Horizontalaus įžeminimo kontūro varžą:

$$R_H = \frac{70}{3,14 \cdot 19,8} \ln \left(\frac{1,5 \cdot 19,8}{\sqrt{12 \cdot 0,7}} \right) = 2,848 \, \Omega;$$

Bendra sistemos varža apskaičiuojama:

$$R_{I\check{z},MT} = \frac{1}{R_{\Sigma V}} + \frac{1}{R_H} = \frac{1}{6,021} + \frac{1}{2,848} = 2,014 \, \Omega;$$

MT įžeminimo kontūro varža tinkama, $2,014 \, \Omega \leq 2,5 \, \Omega$.

Skaičiavimų duomenys surašomi į 3.18 lentelę.

3.7.2. 10 kV atšakinės atramos, prijungimo prie skirstomojo tinklo taške, įžeminimo kontūras

Pagal elektros tinklų įrengimo taisykles, oro linijų atramų, neužstatytoje vietovėje, įžeminimo kontūro varža $R \leq 30 \, \Omega$. Šį kontūrą projektuojame 1x1 m keturkampiu iš 3x12 mm plieninės įžeminimo juostos ir priešingose kampuose įkalame 2 m ilgio neizoliuoto necinkuoto plieninio laidininko, 10 mm skersmens strypus. Parinkimo rezultatai pateikti 3.18 lentelėje.

3.7.3. VE įžeminimo kontūras

Vėjo elektrinėms įžeminti reikalingas įžeminimo kontūras, kurio varža būtų nemažesnė nei $10 \, \Omega$. VE1 ir VE2 projektuojami atskiri, bet identiški įžeminimo kontūrai. Kontūras projektuojamas su vertikaliais ir horizontaliais įžemikliais. Kontūras projektuojamas 10x10 m panaudojant 3x12 mm plieninę įžeminimo juostą ir visuose keturiuose kampuose įkalant neizoliuoto necinkuoto plieninio laidininko 10 mm skersmens strypus. Šio kontūro skaičiavimo rezultatai pateikti 3.18 lentelėje.

3.18 lentelė. Įžeminimo kontūrų parametrai

Įžeminimo vieta	Reikalinga įžeminimo varža pagal įrengimo taisykles, [Ω]	Vertikalių įžeminimo strypų skaičius, [vnt].	Horizontalios įžeminimo juostos ilgis, [m]	Įžeminimo kontūro varža, [Ω]
MT	$\leq 2,5$	8	19,8	2,014
10kV atšakinė atrama	≤ 30	2	4	11,844
VE1 ir VE2	≤ 10	4	40	2,778

3.8. Įtampų lygiai 10/0,4 kV transformatorių, vartotojų šynose

Kad VE galėtų parduoti elektros energiją į 35/ 10 kV TP 10 kV šynas jos darbo įtampa turi būti aukštesnė nei pastotės šynų. Reikalingas tikimybinis 0,2 s įtampų skirtumas.

Kad tai būtų galima padaryti reikalingas automatinis įtampos reguliatorius TP 35/ 10 kV transformatoriams, nustačius reguliatorių taip, kad šynų max. įtampa būtų 10,6 kV ir įvertinus projektuojamos vėjo elektrinės prijungimo taško įtampa, kai ji dirbs maksimalia galia ir perduos elektros energiją į 35 kV tinklą, linijos įtampa gali išaugti, ši įtampa apskaičiuojama taip:

Į tinklą tekanti tikimybinė 0,2 s vėjo elektrinės srovė:

$$I_{G0,2}^{10kV} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_N}; \quad (52)$$

Reikalingas tikimybinis 0,2 s įtampų skirtumas:

$$U_{G0,2} = I_{G0,2}^{10kV} \cdot Z_l; \quad (53)$$

Pagal šias formules apskaičiuojame maksimalią linijos įtampą:

$$I_{G0,2}^{10kV} = \frac{264,27 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 10 \text{ kV}} = 15,25 \text{ A};$$

$$U_{G0,2} = 15,25 \text{ A} \cdot 8,291 \Omega = 126,5 \text{ V};$$

Linijos įtampa gali išaugti iki:

$$10,6 \text{ kV} + 0,1265 \text{ kV} = 10,726 \text{ kV};$$

Vėjo elektrinės įtampos apsaugos turi būti nustatytos taip, kad elektrinės įtampai pakilus 9%, elektrinė turi būti atjungta. Vėjo elektrinės prijungimo taško įtampa negali išaugti daugiau nei 10,9 kV. Tam, kad tokio dydžio įtampa neturėtų įtakos 0,4 kV vartotojams visų skirstomojo tinklo 10/0,4 kV transformatorių atšakos turi būti patikrintos ir jei reikia pakeistos, kad įtampos transformacijos koeficientai nebūtų mažesni už 25 ($U_{10}/U_{0,4} > 25$). VE prijungimo taško įtampa bus ribojama iki 10,9 kV. Tam, kad tokio dydžio įtampa neturėtų įtakos prie 10 kV linijos prijungtiems vartotojams, kurių 0,4 kV šynų maksimali įtampa 0,44 kV, patikriname 10/0,4 kV transformatorių atšakas.

Transformatorinėse (Y-102;Y-117) kai 3-jų pakopų įtampos reguliatoriaus padėtis yra pirma, tada transformatoriaus transformacijos koeficientas:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{10\,000}{400} = 25,0;$$

Nustačius VE įtampos apsaugų nustatymus iki 10 900V, tai tokio dydžio įtampa neturės jokios įtakos 0,4 kV vartotojams:

$$U_2 = \frac{U_1}{k} = \frac{10\,900}{25,0} = 436,0 \leq 440\text{ V};$$

Pagal aptartą metodiką apskaičiuojame įtampų lygius likusiuose 10/0,4 kV transformatoriuose ir rezultatus surašome į 3.19 lentelę.

3.19 lentelė. Įtampų lygiai 10/0,4 kV transformatorinėse, vartotojų šynose

Skaičiuojamoji grandis	Transformacijos koeficiento k, reikšmė	Esant VE apsaugų nustatymams iki 10,9kV, vartotojų gnybtų įtampa U_2 , [V]	Sąlygos ($360\text{V} \leq U_2 \leq 440\text{V}$) tenkinimas
Transformatorinėse (Y-102;Y-117) kai 3-jių pakopų įtampos reguliatoriaus padėtis yra pirma	25,0	436,0	Tenkinama
Transformatorinėse(Y-103; Y-104; Y-105; Y-106; Y-107; Y-108; Y-109; Y-110; Y-112; Y-113; Y-114; Y-115; Y-116; Y-118; Y-123; Y-124) kai 3-jių pakopų įtampos reguliatoriaus padėtis yra antra	26,26	400,0	Tenkinama
Transformatorinėje(Y-120;) kai 3-jių pakopų įtampos reguliatoriaus padėtis yra trečia	27,5	396,36	Tenkinama
Transformatorinėje(Y-111; Y-119) kai 5-kių pakopų įtampos reguliatoriaus padėtis yra trečia	26,25	400,0	Tenkinama

Kad būtų užtikrintos šios vertės, atitinkamai turi būti sureguliuotos VE apsaugos, 3.20 lentelėje pateikiamos VE apsaugų nustatytos vertės.

3.20 lentelė. VE apsaugų nustatymai

Išjungimo kriterijus	Apsaugos statos ribos		Statos vertė		Statos vertės peržengimo ribos leistinoji delsa		Statos vertės delsa	
Per žema įtampa	0,9 - 1	[V]	0,9U _N	[V]	0,05 - 2	[s]	0,2	[s]
Per aukšta įtampa	1 – 1,1	[V]	1,09U _N	[V]	0 - 5	[s]	0,01	[s]
VE elektrinės galios ribojimas	-	-	250	[kW]	-	-	-	-
Per daug aukštas dažnis	0,5	[Hz]	50,5	[Hz]	0 - 5	[s]	200	[ms]
Per daug aukštas dažnis	0,5	[Hz]	48,9	[Hz]	0 - 5	[s]	200	[ms]

Šie apsaugų nustatymai užtikrina VE atsidalinimą nuo tinklo dingus įtampai. Užtikrina, kad iš VE perduodama elektros energijos įtampa VE prijungimo taške neviršytų leistinų ribų. VE su asinchroniniu generatoriumi turi automatinį sinchronizavimo įrenginį. Automatiškai atsijungia nuo tinklo dingus įtampai.

3.9. Įtampos kokybės skaičiavimas pagal prijungimo taisykles.

Prijungiant vėjo elektrines prie skirstomojo tinklo būtina užtikrinti įtampos kokybės reikalavimus. Šie įtampos kokybės reikalavimai yra reglamentuoti „VĖJO ELEKTRINIŲ PRIJUNGIMO PRIE LIETUVOS ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMOS TECHNINĖS TAISYKLĖS“ [6].

3.9.1. Vėjo elektrinės įtampos staigiųjų pokyčių skaičiavimas

Vėjo elektrinės generatoriaus įjungimo, išjungimo ar apvijų (polių) perjungimo sukeltas įtampos pokytis VE atitiktis sertifikate apibrėžiamas $k_u(\psi_k)$ faktoriumi. Šis faktorius nustatomas per VE tipo bandymus ir tikrinamas matavimais elektrinei veikiant jų reikšmės prie pradinio ir vardinio vėjo greičių yra pateiktos 1.6 ir 1.7 lentelėse. Staigiojo įtampos pokyčio (d) ir įtampos pokyčio faktoriaus santykis apskaičiuojamas pagal 54. formulę. Apskaičiuotos vertės turi būti mažesnės už normose apibrėžtas vertes.

$$d(\%) = 100 \cdot k_u(\psi_k) \frac{S_n}{S_k}; \quad (54)$$

čia S_k – trumpojo jungimo galia prijungimo taške;

ψ_k – trumpojo jungimo grandinės fazinis kampas prijungimo taške;

S_n – vėjo elektrinės vardinė pilnutinė galia.

Pagal 54. formulę apskaičiuojame staigiojo įtampos pokyčio (d) ir įtampos pokyčio faktoriaus santykį, prie pradinio vėjo greičio:

$$d(\%)_{Prad,} = 100 \cdot 0,5 \frac{264,27 \text{ kVA}}{13,29 \text{ MVA}} = 0,994 \leq 2;$$

Apskaičiuojame staigiojo įtampos pokyčio (d) ir įtampos pokyčio faktoriaus santykį, prie vardinio vėjo greičio:

$$d(\%)_{vard} = 100 \cdot 2 \frac{264,27 \text{ kVA}}{13,29 \text{ MVA}} = 3,977 \leq 4;$$

Pagal techniniuose reikalavimuose pateiktus normatyvus [6], žemesnės nei 35 kV įtampos tinkle esant įtampos pokyčio faktoriaus reikšmei ≤ 2 , esant pradiniui vėjo greičiui, leistinas įtampos pokyčių ir mirgėjimų dažnis ($10 < r \leq 100$, kartai per valandą). O esant įtampos pokyčio faktoriaus reikšmei ≤ 4 , esant vidutiniui vėjo greičiui, leistinas įtampos pokyčių ir mirgėjimų dažnis ($r \leq 1$, kartai per val.).

3.9.2. Vėjo elektrinės įtampos mirgėjimo koeficientui keliami reikalavimai

Vėjo elektrinės įtampos mirgėjimas yra santykinai greiti ir labai greiti dėl vėjo greičio ir oro tankio kitimų atsirandantys ir nuolat pasikartojantys įtampos pokyčiai, kurie per elektrinio apšvietimo prietaisus neigiamai veikia žmonių regėjimą: jų akyse sukelia mirgėjimo pojūčius.

Vertinant vėjo elektrinės sukeltą mirgėjimą prijungimo taške skiriami du faktoriai:

- pirmuoju faktoriumi, kuris vadinamas mirgėjimo koeficientu, vertinamas vėjo elektrinės generuojamos galios svyravimų indėlis į tinklo įtampos mirgėjimą;
- vėjo elektrinės perjungimų įtakai įtampos mirgėjimui prijungimo taške išreikšti yra taikomas antrasis – įtampos mirgėjimo laipto faktorius.

Vėjo elektrinės įtampos mirgėjimo koeficientui keliami reikalavimai išreiškiami 55. formule:

$$c(\psi_k v_a) < P_{lt} \cdot \frac{S_k}{\sqrt{S_{park} \cdot S_n}}; \quad (55)$$

čia $c(\psi_k, v_a)$ – įtampos mirgėjimo koeficientas;

v_a – metinis vidutinis vėjo greitis veleno aukštyje, m/s;

S_{park} – vėjo elektrinių parko pilnutinė vardinė galia, VA;

P_{lt} – įtampos mirgėjimo aštrumo rodiklis, 10 (20) kV tinkle $P_{lt} \leq 0,50$.

Pagal 55. Formulę apskaičiuojame įtampos mirgėjimo koeficientą:

$$c(\psi_k v_a) < 0,5 \cdot \frac{13,29 \text{ MVA}}{\sqrt{0,52854 \text{ MVA} \cdot 0,26427 \text{ MVA}}} = 17,78;$$

$c(\psi_k v_a)$ reikšmė, kai vidutinis vėjo greitis 6m/s, o fazinis kampas lygus 30° , gaunama iš 1.5 lentelės ir yra lygi 10. Gauname:

$$c(\psi_k v_a) = 10 < 17,78;$$

Keliami reikalavimai tenkinami.

3.9.3. Vėjo elektrinių įjungimų, perjungimų ir išjungimų sukulto įtampos mirgėjimo laipto faktoriaus skaičiavimai

Vėjo elektrinių mirgėjimo laipto faktorius gali būti nustatomas pagal 56. formulę:

$$kf(\psi_k) < \frac{P_{lt}}{8 \cdot \sqrt[3]{N_{120}}} \cdot \frac{S_k}{\sqrt{S_{park} \cdot S_n^2}}; \quad (56)$$

čia $k_f(\psi_k)$ – mirgėjimo laipto faktorius.

N_{120} – vėjo elektrinės sujungimų ir vėjo elektrinės generatoriaus(-ių) perjungimų didžiausias projektinis skaičius per 120 min. (arba 2 val.) trukmę.

Jei vėjo elektrinės valdymo įrenginiai didžiausio (projektinio) įjungimų, išjungimų ir perjungimų skaičiaus per 2 val. trukmę neriboja, įtampos mirgėjimo laipto faktoriui keliamų reikalavimų riba apskaičiuojama pagal formulę:

$$kf(\psi_k) < \frac{P_{lt}}{16} \cdot \frac{S_k}{\sqrt{S_{park} \cdot S_n^2}}; \quad (57)$$

Pagal 56. formulę apskaičiuojame mirgėjimo laipto faktorių, prie pradinio vėjo greičio. Iš 1.6 lentelės žinome, kad leistinas persijungimo skaičius per 120 min yra 120 kartų.

$$kf(\psi_k) < \frac{0,5}{8 \cdot \sqrt[3]{12}} \cdot \frac{13,29}{\sqrt{0,52854 \cdot 0,26427^2}} = 0,877;$$

$kf(\psi_k)$ reikšmė, prie pradinių vėjo greičių, esant 30° faziniam kampui, gauta iš 1.6 lentelės, tai gauname:

$$kf(\psi_k) = 0,7 < 0,877;$$

Sąlyga tenkinama.

Apskaičiuojame mirgėjimo laipto faktorių, prie vardinio vėjo greičio. Iš 1.7 lentelės žinome, kad leistinas persijungimo skaičius per 120min yra 12 kartų.

$$kf(\psi_k) < \frac{0,5}{8 \cdot \sqrt[3]{2}} \cdot \frac{13,29}{\sqrt{0,52854 \cdot 0,26427^2}} = 1,888;$$

$kf(\psi_k)$ reikšmė, prie vardinio vėjo greičio, esant 30° faziniam kampui, gauta iš 1.7 lentelės, tai gauname:

$$kf(\psi_k) = 1,1 < 1,888;$$

Sąlyga tenkinama.

Projektuojamo parko skaičiuojamieji įtampos rodikliai atitinka nustatytus reikalavimus ir neturėtų daryti neigiamo poveikio vartotojų gaunamos įtampos kokybei.

4. Ekonominis įvertinimas

Prieš investuojant pinigus į bet kokį projektą būtina atlikti ekonominius skaičiavimus ir įvertinti ar projektas pelningas. Jei pelningas reikia apskaičiuoti per kiek laiko projektas atsipirks ir kiek laiko dar duos naudą.

Galimi įvairūs būdai apskaičiuoti VE parko kainą, tačiau vienas paprastesnių yra lyginamųjų investicijų metodas [2, skyrius 9]. Šio metodo esmė yra žinant 1 kW įrengimo kainą, galime apskaičiuoti reikiamo galingumo parko kainą. Tačiau naudojant šį metodą būtina įvertinti, kad didėjant instaliuojamo parko galiai, mažėja investicijos viename kW. Pagal literatūrą [8, p. 138] 1 kW VE įrengimui lyginamoji kaina yra apie 1400 €. Tai projektuojamo parko kaina būtų:

$$K = k_{lyg} \cdot P_{inst} = 1\,400 \cdot 500 = 700\,000 \text{ €}; \quad (58)$$

Gauta kapitalinių išlaidų vertė susideda iš dviejų dedamųjų:

$$K = K_{stat} + K_{ir}; \quad (59)$$

čia K – kapitalinės investicijos;

K_{stat} – investicijos statybos ir montavimo darbams;

K_{ir} – investicijos medžiagoms ir įrenginiams.

Skaičiuojama, kad statybos ir montavimo darbai sudaro apie 30%, kapitalinių investicijų. Galime apskaičiuoti šią dedamąją:

$$K_{stat} = 700\,000 \cdot 0.3 = 210\,000 \text{ €};$$

Į šią kainą įeina, transporto paslaugų kaina, pamatų montavimo, ir pan.

Likusi dalis tai įrenginių kaina, kuri yra lygi 490 000 €. Į šią kainą įeina, vėjo elektrinių kaina, kabelių, modulinės transformatorinės, apsaugų ir t.t.

4.1. Pagaminamas energijos kiekis

Vėjo energetika laikoma viena sunkiausiai prognozuojamu elektros gamybos būdu. Taip yra todėl, kad vėjo greitis nėra pastovus ir jie labai priklauso nuo geografinės padėties. Lietuva viena iš tų šalių kur vidutiniai metiniai vėjo greičiai yra gana žemi, tik pajūrio kraštas pasižymi stipresniais vėjo greičiais. Būtent todėl didžioji dalis VE Lietuvoje susikongrėgavusios šioje krašto pusėje.

Skaičiuojant vėjo elektrinių pagaminamą metinį energijos kiekį priimta, kad naujos kartos VE parkai Lietuvoje dirba apytikriai 30% efektyvumu. Projektuojamas VE parkas yra Skuodo rajone, ši šalies dalis yra gan vėjuota ir vidutinis vėjo greitis siekia 5 m/s.

Pagaminamas energijos kiekis apskaičiuojamas pagal 59. Formulę:

$$W_E = P_{parko} \cdot t_{para} \cdot d \cdot 30\%; \quad (60)$$

čia P_{parko} - parko galia, kW;

t – paros valandų skaičius;

d – dienų skaičius per metus.

Apskaičiuojamas pagaminamas energijos kiekis:

$$W_E = 500kW \cdot 24 \cdot 364 \cdot 30\% = 1\,310\, MWh;$$

4.2. Metinės elektrinės eksploatavimo sąnaudos

Negalima pamiršti, kad pastačius elektrinę, ją reikia pastoviai prižiūrėti, yra pastovios eksploatacinės išlaidos. Yra skaičiuojama, kad metinės elektrinės eksploatacinės išlaidos yra apie 2% VE parko kainos.

$$C_{eksp} = K \cdot 0,02 = 700\,000 \cdot 0,02 = 14\,000 \text{ €/m}; \quad (61)$$

Šios išlaidos nėra pastovios, nes kai kurie eksploataciniai darbai atliekami kasmet, kai kurie kas kelis ar daugiau metų, tačiau apskaičiuota vertė yra vidutinė metinė išlaidų suma.

Prie eksploatavimo išlaidų yra pridedamos ir nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos, kurios apskaičiuojamos pagal formulę:

$$C_a = k_a \cdot K; \quad (62)$$

čia k_a – metinė nusidėvėjimo ir amortizacijos norma, kuri apskaičiuojama pagal 63. formulę;

$$k_a = \frac{C_a}{K} = \frac{(K - K_L)}{T_a} \cdot \frac{1}{K} \cdot 100\%; \quad (63)$$

čia K_L – elektrinės likvidacinė vertė ($K_L=0,1K$);

T_a – tarnavimo trukmė, metais.

$$k_a = \frac{(700\,000 - 700\,000 \cdot 0.1)}{20} \cdot \frac{1}{700\,000} \cdot 100\% = 4,5\%;$$

Metinės nusidėvėjimo ir amortizacinės sąnaudos:

$$C_a = 0,045 \cdot 700\,000 = 31\,500 \text{ €};$$

Bendros metinės elektrinės eksploatavimo sąnaudos:

$$C = C_{eksp} + C_a = 31\,500 + 14\,000 = 35\,500 \text{ €};$$

4.3. Elektrinės metinės pajamos už elektrą

Norint nustatyti elektrinės metinės pajamas, reikia žinoti jos pardavimo kainą. Šiuo metų VE gaminama elektros energija yra superkama už 8,68 ct/kWh, tačiau iš šiuo metu statomų VE elektros energija bus superkama tik po 6,95 ct/kWh.

Elektrinės metinės pajamos apskaičiuojamos:

$$R = W_E \cdot c = 1\,310\,000 \cdot 0.0695 = 91\,045 \text{ €}; \quad (64)$$

čia c – elektros pardavimo kaina.

4.4. Elektrinės atsipirkimo laikas

Norint apskaičiuoti elektrinės atsipirkimo laiką, būtina įvertinti visus veiksnius. Elektrinės atsipirkimo laikas, tai laikotarpis per kurį iš elektrinės gautos pajamos padengia investicijas. Kuo elektrinės atsipirkimo laikas trumpesnis, tuo projektas pelningesnis.

Skaičiuojant atsipirkimą priimsime, kad projekto įgyvendinimui buvo paimta paskola, kurios metinė palūkanų norma 3,33%. Ši paskola buvo paimta penkiolikai metų. Per šį laikotarpį paskola kainuos 168 933,33 €, apskaičiuota pasinaudojus Lietuvos banko palūkanų skaičiuokle.

Bendra projekto kaina:

$$K_{Sum} = K + K_{Paskolos} = 700\,000 + 168\,933,33 = 868\,933,33 \text{ €}; \quad (65)$$

čia $K_{paskolos}$ – paskolos kaina.

Atsipirkimo laikas apskaičiuojamas:

$$t_{atsip} = \frac{K_{sum}}{R - C_{eksp}} = \frac{868933,33}{91\,045 - 14\,000} = 11,27 \text{ m}; \quad (66)$$

Parko atsipirkimo laikotarpis 11 metų ir 4 mėn.

Galime paskaičiuoti apytikrą pelną, kadangi žinome, kad vėjo elektrinių tarnavimo trukmė apie 20 metų. Atėmus atsipirkimo laikotarpį, gauname, kad elektrinė neš pelną 9 metus ir 8 mėn. Skaičiuojant pelną priimame, kad šiuo laikotarpiu eksploatacinės išlaidos padidėjo apie 20%, bei elektrinės efektyvumas sumažėjo iki 25% Pelnas apskaičiuojamas taip:

$$P = (R - C_{eksp}) \cdot 9,63 = (79\,056,25 - 16\,800) \cdot 9,63 = 599\,527,68 \text{ €}; \quad (67)$$

Iš gautų rezultatų matome, kad projektas yra pelningas.

Išvados

1. Įvertinus projektuojamo parko galią ir aplinkos sąlygas parinktos SIVA 250/50 VE kurių nominali galia siekia 250 kW. Parkas projektuojamas su dviem VE, kurių suminė galia 500 kW.
2. Pagal pateiktą išorinio tinklo schema išsiaiškinta, kad prie pateiktos skirstomojo tinklo dalies yra prijungta vartotojų, kurių vartojama galia kinta nuo minimalios 400 kW iki maksimalios 980 kW galios. Iki prijungiant vėjo elektrinių parkui šie vartotojai buvo užmaitinti per 35/10 TP, kurios galingumas 4 MVA.
3. Atlikus reikiamus skaičiavimus 0,4 kV tinklui parinkti variniai 3x240/120 mm² kabeliai, apskaičiuoti reikalingo aukštinančiojo transformatoriaus parametrai ir parinktas 630 kVA galios transformatorius. 10 kV linijai, nuo modulinės transformatorinės iki prijungimo taško, parinktas aliuminis 3x35/16 mm² kabelis. Apskaičiuoti galios bei įtampos nuostoliai įvertinus parinktus elementus ir nustatyta, kad šie nuostoliai nesiekia 5% iš ko galime daryti išvadą, kad kabeliai ir transformatorius parinkti teisingai. Pasinaudojus kompiuterine programa SIEMENS PSS/E University, buvo apskaičiuoti įtampos lygiai skirstomajame tinkle. Atlikus trumpųjų jungimų skaičiavimus, pagal gautas TJ srovių vertes parinkti komutavimo aparatai, bei sistemos apsaugos. Nustatyta, kad prijungus parką maksimalus trumpasis jungimas 35/10 TP, 10 kV šynose padidėjo nuo 1,313 kA iki 1,449 kA.
4. Pagal vėjo elektrinių prijungimo taisyklės buvo atlikti įtampos kokybės parametrų skaičiavimai. Gauta, kad prie pradinių vėjo greičių leistinas įtampos pokyčių dažnis ($10 < r \leq 100$, kartai per valandą), o prie vardinio vėjo greičio ($r \leq 1$, kartai per val.). Apskaičiuotas įtampos mirgėjimo koeficientas, kuris lygus 17,78 ir įvertinus vidutinį vėjo greitį, bei sistemos fazinį kampą kuris lygus 30°, turėtų būti didesnis už 10. Apskaičiavus įtampos mirgėjimo laipto faktorių prie pradinio ir vardinio vėjo greičio, gavome sąlygas tenkinančias vertes. Pagal gautus rezultatus galime teigti, kad prijungtas parkas tenkina prijungimo sąlygas ir neturės neigiamo poveikio vartotojams.
5. Atlikus projektuojamo VE parko skaičiavimus buvo apskaičiuota, kad reikalingos kapitalinės investicijos, įvertinus 3,3% metinės paskolos palūkanas yra 868 933,33 €. Apskaičiavus parko gaminamą metinį energijos kiekį ir įvertinus superkamos elektros kainą, kuri šiuo metu statomoms VE bus apie 6,95 ct, apskaičiuota, kad parkas turėtų atsipirkti apytiksliai per 11 metų ir dar apie 9 metus turėtų nešti pelną, kuris per atitinkamą laikotarpį turėtų siekti 599 527,68 €. Iš ko daroma išvada, kad projektas yra pelningas ir investicijos pagrįstos.

Literatūra

1. Vėjo elektrinės – [interaktyvus].– [žiūrėta 2015 m. Gegužės 3d]. Prieiga per internetą: http://www.sivawind.com/siva250_50.html
2. Svinkūnas G., Navickas A., Elektros energetikos pagrindai. Kaunas, 2013
3. Kompiuterinė, elektros tinklų skaičiavimo programa [interaktyvus].- [žiūrėta 2015 m. Balandžio 30d]. Prieiga per internetą: <http://w3.usa.siemens.com/smartgrid/us/en/transmission-grid/products/grid-analysis-tools/Pages/grid-analysis-tools.aspx>
4. Deksnys R.P., Staniulis R., Miškinis V., Elektrinių ir pastočių elektrinė dalis. Kaunas, 2014
5. Elektros įrengimų bendrosios įrengimo taisyklės [interaktyvus] - [žiūrėta 2015 m. Gegužės 5d]. Prieiga per internetą: <https://www.etar.lt/portal/legalAct.html?documentId=TAR.6AF8895BD875>
6. Vėjo elektrinių prijungimo prie Lietuvos elektros energetikos sistemos techninės taisyklės [interaktyvus]. - [žiūrėta 2015 m. Balandžio 28d]. Prieiga per internetą: http://www3.lrs.lt/pls/inter2/dokpaieska.showdoc_l?p_id=231095
7. Apsauga nuo žaibo, įžeminimo kontūras: [interaktyvus] - [žiūrėta 2015 m. Gegužės 5d]. Prieiga per internetą: <http://remontogidas.lt/images/elektra/Isorine%20apsauga%20nuo%20zaibo.%20www.remontogidas.lt.pdf>
8. Petrauskas G., Adomavičius V., Vėjo energijos naudojimas energijai gaminti. Kaunas, 2012

Priedai

1. Priedas. Iki 1000 V kabelių su plastikine izoliacija techniniai parametrai

2.

Laidininko skerspjūvio plotas, mm ²	Laidininko konstrukcija*	Aktyvioji varža esant 20 °C, Ω/km	Ilgalaikė gyslos (+70°C) darbinė srovė grunte, A**	Ilgalaikė gyslos (+90°C) darbinė srovė ore, A**
<u>Aliuminio gyslomis</u>				
3x16	RE	1,91	78	80
3x35	SM	0,868	125	125
4x16	RE	1,91	78	80
4x35	SM	0,868	125	125
4x70	SM	0,443	185	196
4x120	SM	0,253	255	274
4x240	SM	0,125	375	425
5x16	RE,RM	1,91	78	80
5x35	RM	0,868	125	125
<u>Vario gyslomis</u>			Ilgalaikė gyslos (+90°C) darbinė srovė, A	
			grunte***	ore****
3x16	RE,RM	1,15	112	98
3x35	SM	0,524	174	162
4x16	RE,RM	1,15	112	112
4x35	SM,RM	0,524	174	162
4x70	SM	0,268	254	250
4x120	SM	0,153	348	359
4x240	SM	0,0754	517	564
5x16	RM	1,15	112	112
5x35	RM	0,524	174	162

3. * RE – apvalus monolitinis; RM – apvalus daugiavielis; SM - sektorinis daugiavielis.
4. **Ilgalaikės darbinės srovės aliuminiams laidininkams nurodytos pagal LST 1702 (HD 603) standartą, kai grunto temperatūra +15 °C, oro +25 °C.
5. ***Ilgalaikės darbinės srovės variniams laidininkams nurodytos pagal LST 1702 (HD 603) standartą, kai grunto temperatūra +20 °C, oro +30 °C

2. Priedas. 10/0,4 kV transformatoriai



www.cgglobal.com

Trifazis skirstomasis transformatorius

Nuostolių lygis $A_k B_0 - A_l$: 10kV

Atitinkantis EN 50464-1:2007

100 iki 3150 kVA su 4 ž gnybtais



Bendrai

Trifaziai alyva užpildyti skirstomieji transformatoriai:

- > jungimo grupė Yyn0
- > hermetiški
- > gofruotas bakas
- > užveržiamu dangčiu
- > aušinimas ONAN
- > vidaus ir lauko instaliacijai
- > antikorozinė danga
- > standartinė spalva: RAL 7033
- > aliuminio arba Vario apvijos
- > IP00
- > mineralinė alyva atitinka IEC 60296

Standartai

Transformatoriai atitinka standartus:

- > EN (IEC) 60076
- > EN 50464
- > EN 50216

Pasirinkimai:

- > sumažintas dydis
- > aukštesni ar mažesni duomenys
- > 30 kV konstrukcija
- > silikono arba esterio užpildas

Standartiniai priedai

- > 5 padėčių atšakų perjungiklis ($\pm 2 \times 2,5\%$)
- > 3 A_l kištukinės jungtys atitinkančios EN 50180
- Pagal poreikį: porcelianiniai izoliatoriai 12-250/P2 atitinkantys EN 50180
- > 4 ž_l kontaktai atitinkantys EN 50386
- > nuo 500 kVA: 4 jungtys DIN 43675
- > alyvos išleidimo vožtuvas EN 50216-4
- > 4 ratukų bazė
- > 2 kėlimo kilpos
- > 4 tvirtinimo kilpos
- > 2 žeminimo gnybtai M12 (1x ant dangčio, 1x ant rėmo)
- > 1 termometro lizdas
- > 1 užpildymo anga
- > 1 duomenų lentelė
- > gnybtų ženklavimas ant dangčio

Galia	kVA	100	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Įtampa A _l / ž _l	10 kV / 400 V														
Izoliacijos lygis A _l / ž _l	12 kV / 1,1 kV														
Apvijų medžiaga	Aluminium														
Tuščios eigos nuostoliai	W	180	260	360	440	520	610	730	680	800	940	1150	1450	1800	2605
Trumpo jungimo nuost.	W	1250	1700	2350	2800	3250	3900	4600	5800	6000	7600	9500	12000	15000	23050
U _k	%	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6
Triukšmo lygis (L _w)	dB(A)	44	47	50	52	53	54	55	55	56	58	59	61	63	69
I	mm	1070	1070	1070	1130	1190	1310	1310	1340	1510	1560	1680	1735	1775	2030
P	mm	760	760	780	785	820	890	880	900	940	955	1010	995	1245	1245
A (porcelianiniai izol.)	mm	1265	1365	1460	1480	1570	1530	1600	1560	1655	1835	1875	2035	2130	2420
A (kištukiniai lizdai)	mm	1135	1235	1405	1425	1515	1520	1590	1550	1645	1835	1875	2035	2130	2420
Ø ratukų	mm	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	160	200	200
Tarp ratukų	mm	520	520	520	670	670	670	670	670	670	670	670	820	1070	1070
Alyvos masė	kg	220	245	275	295	365	440	440	460	585	550	695	765	890	1130
Bendra masė	kg	920	1060	1310	1440	1790	2200	2360	2150	2990	4010	3550	4010	4620	5790

5. Priedas. Laidininkų leistinoji ilgalaikė srovė

Laidininkas	$\theta_l, ^\circ\text{C}$
Neizoliuotų suvirintų varinių ir aliumininių šynų	100
Sujungtų varžtais arba presuotų varinių	85
Sujungtų varžtais arba presuotų aliumininių	70
Suteptų šynų laidininkų varžtiniais sujungimams	120
Pasidabruotiems arba atitinkamai paruoštiems sujungimams	160
Atraminiais izoliatoriams ir įvadams	85
Įrenginių gnybtams	85
Alavuotiems ir pasidabruotiems įrenginių gnybtams	105
Neizoliuotų plieninių aliumininių, varinių ir aliumininių laidų lauke	80
Elektros kabelių su popieriaus izoliacija	50–65
Kabelių su polivinilchlorido izoliacija	70
Kabelių su polietileno tarp molekuliniais ryšiais izoliacija	90 – ore
	65 – žemėje

6. Priedas. 10kV izoliatoriai

Porceliano izoliatoriai skirti izoliuoti ir neizoliuotų laidų tvirtinimui ant elektros oro linijų, elektros skirstomųjų įrenginių ir pastočių, kuriose kintamosios srovės įtampa siekia 10, 20 ir 35 kV, atitinkamai iki 100 Hz. Izoliatoriai eksploatuojami aplinkoje, kurios temperatūra -60°C iki $+50^\circ\text{C}$. Izoliatoriai atitinka IEC 60383-1 standartą.

Ženklinimo reikšmės:

Š-strypinis

F-porcelianinis (keramškinis)

10; 20 - nominali įtampa (arba vardinė įtampa)

G; D - izoliatoriaus modifikacijos indeksas



Tipas	Izoliatorių suardanti mechaninė apkrova, kN	Pramušimo įtampa izoliacinėje terpėje, kV	Atlaikančioji įtampa, kV			Nuotėkio kelio ilgis, mm	Statybinis aukštis, mm	Svoris, kg
			50Hz, šlapioje aplinkoje, kV	50 Hz (sausioje būsenoje) kV	impulsinė 1,2 / 50 + / -- kV			
ŠF10 G (10kV)	12,5	160	65	42	100	256	140	1,9
ŠF10 MO(10 kV)	12,5	120	63	45	80	260	140	1,4
ŠF 20 G (20kV)	13	180	85	65	135	400	184	3,5
ŠF 20 MO	13	135	85	45		325	184	3,4

7. Priedas. 0,4kV izoliatoriai

Izoliatoriai TF skirti aukštos, iki 1000V, įtampos oro laidų, ryšio linijų ir radijo-transliaciniams tinklams izoliavimui.

Ženklavimo reikšmės:

T- telefoninis

12, 16, 20 - strypo arba tvirtinamojo kabelio skersmuo

01- oro sąlygos ir vietos kategorija



Tipas	TU	Izoliatorių suardanti mechaninė apkrova, kN	Izoliacijos varža, MΩ	Statybinis aukštis, mm	Svoris, kg
TF 20	TU34-27-98-93	8	5x10 ⁴	100	0,49
TF 20 01	TU34-27-98-93	8	5x10 ⁴	100	0,47
TF-16-01	TU34-27-98-93	6	4-5x10 ⁴	86	0,315
TF 12-01	TU34-27-98-93	3	2-5x10 ⁴	67	0,165

8. Priedas. 10kV saugiklis

Bendrieji duomenys:

Eksploatacija: lauko sąlygomis

Nominali įtampa: 10 kV

Aplinkos temperatūra: - 45 °C + 40 °C

Pastatymo aukštis virš jūros lygio: ≤ 1000 m

Darbinė padėtis: vertikali, galima paklaida nuo vertikalios padėties iki 15°

Techniniai parametrai:

Saugiklio tipas	Nominali saugiklio srovė, A	Didžiausia darbinė įtampa, kV	Nominali atjungimo srovė, kA	Minimali atjungimo srovė, A
PT111-10-2-31,5Y1	2	12	31,5	12
PT111-10-3,2-31,5Y1	3,2			20
PT111-10-5-31,5 Y1	5			30
PT111-10-8-31,5Y1	8			48
PT111-10-10-31,5Y1	10			60
PT111-10-16-31,5Y1	16			160
PT 111-10-20-31,5Y1	20			200
PT111-10-31,5-31,5Y1	31,5			315
PT112-10-40-31,5Y1	40			400
PT112-10-50-31,5Y1	50			500
PT112-10-63-31,5Y1	63			630
PT113-10-80-31,5Y1	80			800
PT113-10-100-31,5Y1	100			1000

* Pramušimo signalizacija: saugiklio patronas viename gale turi indikatorius, uždengtą plona metaline membrana. Perdegus saugikliui, spec. kaištis pramuša metalinę membraną ir išlenda iš patrono ne mažiau kaip 8 mm, tuo pačiu įspėdamas apie saugiklio pramušimą.

9. Priedas. 0,4kV 400A automatinis jungiklis

Produktdatenblatt HND400H

:hager

Technische Merkmale

Nennstrom	400 A
Betriebsspannung AC	220/690 V
Frequenz	50/60 Hz
Isolationsspannung	800 V
Polanzahl	3 P
Stoßspannungsfestigkeit	8000 V
Anzahl der Platzeinheiten	8
Betriebstemperatur	-25 bis 70 °C
Lagerungstemperatur	-35 bis 70 °C
Anschlussart	Kabelschuh
Anschlussquerschnitt bei flexibelem Leiter	35 - 240mm ²
Anschlussquerschnitt bei massivem Leiter	35 - 240mm ²
Gerätelebensdauer mechanische Schaltspiele	4000
Gerätelebensdauer, elektrische Schaltspiele	1000
Gesamtverlustleistung unter Nennstrom	150 W
Verlustleistung pro Pol	50 W
Drehmoment	22Nm
Abschaltvermögen nach IEC 947.2 50 Hz	100 %
Auslösertype	LSI
Auslösezeit magnetischer Auslöser	100/200 ms
Auslösezeit thermischer Auslöser	5/10/11/19/21/29 ms
Einstellbereich magnetischer Auslöser	2,5/5/10
Einstellbereich thermischer Auslöser	0,4/0,5/0,63/0,9/0,95/1

10. Priedas. 0,4kV 800A automatinis jungiklis

Produktdatenblatt HNE800H

:hager

Technische Merkmale

Nennstrom	800 A
Betriebsspannung AC	220/690 V
Frequenz	50/60 Hz
Isolationsspannung	800 V
Polanzahl	3 P
Stoßspannungsfestigkeit	8000 V
Anzahl der Platzeinheiten	12
Betriebstemperatur	-25 bis 70 °C
Lagerungstemperatur	-35 bis 70 °C
Anschlussart	Kabelschuh
Anschlussquerschnitt bei flexibelem Leiter	2x240mm ²
Anschlussquerschnitt bei massivem Leiter	2x240mm ²
Gerätelebensdauer mechanische Schaltspiele	4000
Gerätelebensdauer, elektrische Schaltspiele	1000
Gesamtverlustleistung unter Nennstrom	140 W
Verlustleistung pro Pol	46,6 W
Drehmoment	65Nm
Abschaltvermögen nach IEC 947.2 50 Hz	100 %
Auslösertype	LSI
Auslösezeit magnetischer Auslöser	100/200 ms
Auslösezeit thermischer Auslöser	5/10/11/19/21/29 ms
Einstellbereich magnetischer Auslöser	2,5/5/10
Einstellbereich thermischer Auslöser	0,4/0,5/0,63/0,9/0,95/1

11. Priedas. 10kV viršįtampių ribotuvas



Saves Your Energy

GAMINIO KORTELĖ

10.5.2015

SGA1012.10

Pavadinimas: **Viršįtampių ribotuvas**
Uc = 10 kV, In = 10 kA, Class 1

Tipas: SGA1012.10

EAN kodas: 6418677457579

Aprašymas: Transformatorių, komutavimo įrenginių ir skirstymo linijų apsauga nuo atmosferinių bei komutacinių viršįtampių. Viršįtampių ribotuvai turi būti parinkti pagal IEC 60099-4/2004 standartą.

Pakuotė: 1/120

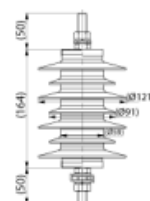
Mato vienetas: vnt.



Techninė specifikacija

Matmenys

Svoris 1.7 kg



12. Priedas. 0,4kV viršįtampių ribotuvas

Type	LDY-40B			LDY-NPE/40B
Max. continuous AC Voltage Uc V	275	385	420	275
Part No.	08402	08403	08404	08400
Voltage protection level Up KV	<2.0	<2.2	<2.5	<1.5
Norminal discharge current In (8/20 μs) kA	40			40
Max. Discharge current Imax (8/20 μs) kA	80			80
Leakage current 75% Uc 1mA	≤ 20 μA			—
Response time ns	<25			<100
Compound mode	1P, 1P+N, 2P, 3P, 3P+N, 4P			
Enclosure material	enhanced flame retardant nylon (light gray, flame retardancy: V0)			
Max. backup fuse/airbreak switch	125A gL			
Cross-sectional area	≥ 10mm ² stranded/flexible			