KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Tomas Ruzveltas

100 kW saulės elektrinės projektavimas ir prijungimo prie skirstomojo tinklo skaičiavimas

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas
dr. Vytautas Sučila

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
ELEKTROS ENERGETIKOS SISTEMŲ KATEDRA

100 kW saulės elektrinės projektavimas ir prijungimo prie skirstomojo tinklo skaičiavimas

Baigiamasis bakalauro projektas
Atsinaujinančioji energetika (612E33001)

Vadovas
(parašas) dr. Vytautas Sučila
(data)
Recenzentas
(parašas)
(data)

Projektą atliko
(parašas) Tomas Ruzveltas
(data)

KAUNAS, 2015

TVIRTINU:

KTU Elektros ir elektronikos fakulteto

_____katedros vedėjas

_____

201….. ....

BAKALAURO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS

Išduota studentui: Tomas Ruzveltas Grupė EAE 1/2

1.Darbo tema:

Lietuvių kalba: 100 kW saulės elektrinės projektavimas ir prijungimo prie skirstomojo tinklo skaičiavimas

Anglų kalba: Design of 100 kW Solar Power Plant and Calculation of its Connection to Electric Power Distribution Network:

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

2. Darbo tikslas: Suprojektuoti 100 kW saulės elektrinę ir prijungti ją prie 10 kV skirstomojo elektros tinklo. Apskaičiuoti elektrinės atsipirkimo laikotarpį.

3. Reikalavimai ir sąlygos:

1. Apskaičiuoti projektuojamos saulės elektrinės fotomodulių ir keitiklių kiekį.
2. Parinkti jungiamuosius laidus ir apskaičiuoti įtampos nuostolius.
3. Apskaičiuoti trumpuosius jungimus.
4. Parinkti apsauginius aparatus.
5. Parinkti transformatorių.
6. Suprojektuoti įžeminimo kontūrą
7. Atlikti ekonominį įvertinimą

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

Santrauka; Įvadas; Apžvalginė dalis; Metodinė dalis; Išvados; Literatūros sąrašas.

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

Pateikta prjekto ekonominė analizė.

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

Pateikta projekto grafinė dalis.

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)*

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Elektros ir elektronikos fakultetas

(Fakultetas)

Tomas Ruzveltas

(Studento vardas, pavardė)

Atsinaujinančioji energetika (612E33001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Pavadinimas“

AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 15 m. gegužės 13 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Tomo Ruzvelto** baigiamasis projektas tema „100 kW saulės elektrinės projektavimas ir prijungimo prie skirstomojo tinklo skaičiavimas“ 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)*

Tomas Ruzveltas, 100 kW saulės elektrinės projektavimas ir prijungimo prie skirstomojo tinklo skaičiavimas: Bakalauro darbas/ vadovas dr. V. Sučila; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Elektros energetikos sistemų katedra. Kaunas, 2015.

SANTRAUKA

Darbe projektuojama 100 kW galios saulės elektrinė. Elektrinės statymo vieta – Klaipėdos rajonas. Tam, kad pasiekti norimą instaliuotą galią buvo naudojami 364 vnt. monokristalinių fotomodulių ir 5 vnt. 20,75 kW galios keitiklių. Elektrinė bus prijungta prie 10 kV elektros skirstomojo tinklo, tam suprojektuotas įtampą aukštinantis 100 kVA galios transformatorius. Per metus elektrinė į tinklą sugeneruos 99,5 MWh elektros energijos. Elektrinės atsipirkimo laikotarpis apie vienuolika su puse metų. Darbo apimtis 43 lapai, kuriame yra 6 paveikslai ir 20 lentelių.

Tomas Ruzveltas, Design of 100 kW Solar Power Plant and Calculation of its Connection to Electric Power Distribution Network: Bachelor's final paper/ supervisor dr. V. Sučila; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Electrical Power Department. Kaunas, 2015.

SUMMARY

This paper shows a design of 100 kW solar power-plant. Solar power-plant mounting location – Klaipėda district. In order to achieve the desired installed power were used 364 pcs. monocrystalline modules and 5 pcs. 20.75 kW inverters. Solar power-plant will be connected to electric power distribution network, in this purpose was designed 100 kVA transformer. During one year the power plant will generate 99,5 MWh electricity power. Estimated time for power-plant to pay off is eleven and a half years. This paper has 43 pages which contain 6 images and 20 tables.

TURINYS

Paveikslų sąrašas ... 10
Lentelių sąrašas ... 10
Įvadas ... 11
1. Apžvalginė dalis ... 12
1.1. Saulės energetika Lietuvoje ... 12
1.2. Fotomodulių tipai ... 13
1.2.1. Amorfiniai fotomoduliai ... 13
1.2.2. Polikristaliniai fotomoduliai ... 14
1.2.3. Monokristaliniai fotomoduliai ... 14
1.3. Keitikliai ... 15
1.4. Saulės elektrinių apsauga ... 15
1.4.1. Apsauga nuo trumpųjų jungimų ... 15
1.4.2. Apsauga nuo viršįtampių ... 18
1.4.3. Įžeminimas ... 19
1.5. Saulės elektrinių prijungimas prie tinklo ... 20
1.5.1. Nuostoviosios tinklo įtampos kitimas ... 20
1.5.2. Trumpieji jungimai ... 21
2. Objekto projektavimas ... 22
2.1. Objekto aprašymas. ... 22
2.1.1. Fotomodulių parinkimas ... 22
2.1.2. Keitiklių parinkimas ... 23
2.1.3. Fotomodulių jungimas ... 24
2.1.4. Modulių išdėstymo skaičiavimas ... 26
2.1.5. Kabelių parinkimas ... 28
2.1.6. Transformatoriaus parinkimas ... 32
2.1.7. Trumpųjų jungimų skaičiavimas ... 32
2.1.8. Kabelių tikrinimas pagal trumpojo jungimo srovės ir šiluminio impulso poveikį ... 36
2.1.8. Apsauginių aparatų parinkimas ... 37
2.1.9. Nuostoviosios tinklo įtampos kitimų skaičiavimas ... 37
2.1.10. Įžeminimo kontūro skaičiavimas ... 38
2.1.11. Projekto ekonominis įvertinimas ... 40
Išvados ... 41
Literatūros sąrašas ... 42
Priedų sąrašas ... 43

1 priedas. TP 10 kV elektros linijos L-300 schema. 44
2 priedas. Saulės elektrinės vienlinijinė schema. 45
3 priedas. Fotomodulių jungimo planas. 46
4 priedas. Keitiklių ir transformatoriaus sujungimo planas. 47
5 priedas. Įžeminimo kontūras. 48

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. a) sinusinė išėjimo įtampa; b) modifikuota sinusinė išėjimo įtampa c) stačiakampė laiptuota išėjimo įtampa 13
2 pav. a) B tipo charakteristika; b) C tipo charakteristika; c) D tipo charakteristika 17
3 pav. Viršįtampių kategorijos elektros tinkle 19
4 pav. Trumpųjų jungimų rūšys 21
5 pav. Elektros tinklo ekvivalentinė schema 34
6 pav. Apsauginių aparatų selektyvumo kreivės 37

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Monokristalinių ir polikristalinių fotomodulių efektyvumo palyginimas. 23
2 lentelė. Fotomodulio Solet M60.6 techniniai parametrai 23
3 lentelė. Keitiklio ABB TRIO-20.0 TL-OUTD techniniai parametrai.....23
4 lentelė. Bloko su 36 fotomoduliais ir keitiklio parametrai 26
5 lentelė. Bloko su 38 fotomoduliais ir keitiklio parametrai 26
6 lentelė. Saulės sudaromas kampas su horizontu 12h nuo spalio iki kovo. 27
7 lentelė. Atstumas tarp konstrukcijų priklausomai nuo saulės spindulių kritimo kampo. 28
8 lentelė. Linijų jungiančių fotomodulių blokus ir keitiklius parametrai. 29
9 lentelė. Linijų jungiančių keitiklius ir paskirstymo skydą parametrai..... 30
10 lentelė. Keitiklių išėjimo galios ir srovės..... 31
11 lentelė. Linijos jungiančios paskirstymo skydą ir transformatorių parametrai..... 31
12 lentelė. 10 kV kabelio jungiančio transformatorinę ir atramą parametrai. 32
13 lentelė. Transformatoriaus parametrai. 32
14 lentelė. Keitiklių trumpojo jungimo srovės 33
15 lentelė. K06, K07, K08 trumpųjų jungimų srovės..... 35
16 lentelė. Kabelių tikrinimo pagal trumpojo jungimo srovę rezultatai 36
17 lentelė. Kabelių tikrinimo pagal šiluminį impulsą rezultatai. 36
18 lentelė. Grunto drėgnumo pataisos koeficiento vertės. 38
19 lentelė. Vertikaliųjų elektrodų išnaudojimo koeficientas. 39
20 lentelė. Horizontaliųjų elektrodų išnaudojimo koeficientai. 39

ĮVADAS

Šiuo metu, kai elektros poreikis vis didėja, o organinio kuro atsargos yra baigtinės ir nepaliaujamai senka, labai svarbūs tampa alternatyvieji atsinaujinantys energijos ištekliai, tokie kaip saulės, vandens ir vėjo energija. Siekiant sustabdyti globalinį atšilimą ir išvengti su tuo susijusių problemų, būtina apriboti ir mažinti CO^2 dujų emisijos lygį.

Šiai problemai spręsti ir visuomenės vystymuisi užtikrinti nėra kitos alternatyvos kaip mažinti energijos vartojimą didinant jos vartojimo efektyvumą, taip pat vis didesnę dalį iškastinio kuro pakeisti alternatyviaisiais energijos šaltiniais. Dėl šių priežasčių įrengiama vis daugiau saulės ir vėjo elektrinių parkų. Saulės elektrinių pagamina elektros energija yra atiduodama į nacionalinius elektros tinklus.

Tyrimo/projektavimo objektas – 100 kW saulės elektrinė. Elektrinė sudaryta iš 364 fotomodulių, sujungtų į penkis 20,75 kW galios inverterius. Fotomoduliai sumontuoti ant dviejų konstrukcijų, tarp kurių yra 10 m atstumas. Konstrukcijoje fotomoduliai montuojami dviem eilėmis. Bendras saulės elektrinės užimamas plotas – 1382,063 m^2. Saulės elektrinei prijungti prie 10 kV elektros tinklo projektuoju 100 kVA galios transformatorių

Darbo naujumas ir aktualumas tas, kad projektuojamos saulės elektrinės skaičiavimus ir duomenis bus galima panaudoti realiam projektui įgyvendinti.

Darbo tikslai:

1. Apskaičiuoti projektuojamos saulės elektrinės fotomodulių ir keitiklių kiekį.
2. Parinkti jungiamuosius laidus ir apskaičiuoti įtampos nuostolius.
3. Apskaičiuoti trumpuosius jungimus.
4. Parinkti apsauginius aparatus.
5. Parinkti transformatorių.
6. Suprojektuoti įžeminimo kontūrą
7. Atlikti ekonominį įvertinimą

1. APŽVALGINĖ DALIS

Saulė energija yra pats galingiausias atsinaujinančiosios energijos šaltinis Žemėje. Apskaičiuojama, kad teorinis metinis pasaulio saulės energijos potencialas sudaro 900 000 000 TWh ir yra apie 60 kartų didesnis už teorinį metinį pasaulio vėjo energijos potencialą, apie 2200 kartų didesnis už teorinį metinį geoterminės energijos potencialą, apie 4500 kartų – už biomasės ir apie 36 000 kartų – už hidroenergijos teorinius metinius pasaulio potencialus. [1]

Iš šių duomenų galima teigti, kad saulės energija yra perspektyviausia iš atsinaujinančių šaltinių. Sparčiai tobulėjant technologijoms didėja saulės modulių efektyvumas ir tarnavimo laikas. Nuo devinto dešimtmečio pradžios iki šių dienų saulės modulių efektyvumas išaugo daugiau negu du kartus (nuo 16% iki 34,1%). [2] Tuo pačiu metu fotomodulių instaliuota vieno vato kaina sumažėjo net 83 kartus (nuo 25 iki 0.3 dolerių)! [3]

1.1. Saulės energetika Lietuvoje

Lietuvos geografinė platuma nėra tokia palanki Saulės energijai panaudoti kaip šalys, esančios arčiau ekvatoriaus, tokios kaip pvz.: Malta, Kipras. Lietuvos saulės energija, patenkanti į žemės paviršių, išsisklaido žymiai didesniame paviršiaus plote negu tose geografinėse platumose, kuriose vidurdienį Saulė pakilusi zenite. Saulės spinduliai čia taip pat nueina ilgesnį kelią atmosferoje ir todėl patiria kur kas didesnių absorbcijos ir difuzijos nuostolių.

Lietuvoje metinis saulės energijos kiekis, krentantis į horizontalų 1 m^2 ploto paviršių, truputį didesnis nei 1000 kW/m. Atskirais metais šis kiekis gali šiek tiek svyruoti tiek į vieną pusę , tiek į kitą pusę.

Elektros energijos gamybos potencialas, naudojant šiuo metu labiausiai paplitusius kristalinio silicio saulės fotomodulius, orientuotus pietų kryptimi ir nukreiptus į horizontą optimaliu kampu, vidutiniškai siekia 870kWh/Wp. Kadangi 1 kWp galios saulės elementų modulis užima apie 8 m² plotą, elektros energijos ekvivalentas saulės energijai visos šalies mastu būtų $7,06*10^6$ GWh.

Šiuo aspektu Lietuva patenka į labai palankią saulės spinduliuojamos energijos anomalijos zoną. Tam ypač palanki visa šiaurinė ir didžioji dalis vakarinės pusės. Čia metinė saulės spinduliavimo energija siekia 1300 kWh/kWp.

Saulės energiją tiesiogiai panaudoti apsunkina tiek metų, tiek ir paros saulės energijos intensyvumo netolygus pasiskirstymas. Didžiausias intensyvumas – gegužės, birželio, liepos mėnesiais. Mažiausias – gruodžio, lapkričio, sausio mėnesiais.

Didelę įtaką saulės energijos intensyvumui turi klimatinės sąlygos.Meteorologiniai stebėjimai rodo, kad saulėtų dienų skaičius Lietuvoje pasiskirstęs nevienodai. Daugiausia saulėtų valandų per metus Nidoje – 1900, mažiausia – rytiniame šalies pakraštyje – 1650.

1.2. Fotomodulių tipai

Fotomodulis – tai prietaisas, kuris saulės šviesos energiją paverčia elektros energija.

Saulės šviesa, krentanti į saulės elementą, jonizuoja silicio atomus. Šie, veikiami p-n jungties potencuialų skirtumo, poliarizuojasi į dvi priešingo krūvio zonas. Laisvieji elektronai kaupiasi n-sluoksnyje prie viršutinio kontakto, atomai, netekę elektrono, kaupiasi p- sluoksnyje, prie apatinės kontaktinės plokštelės. Šiuos sluoksnius sujungus išorine grandine, laisvieji elektronai keliauja į p-silicio sluoksnį ir ten rekombinuojasi su skylėmis, išlaisvindami savo krūvio energiją. Elektronų srautas išorinėje grandinėje ir yra elektors srovė, kuri gali atlikti tam tikrą naudingą darbą.

Fotomoduliai yra trijų rūšių: monokristaliniai, polikristaliniai ir amorfiniai. Monokristaliniai moduliai yra efektyviausi, jų efektyvumas siekia apie 24 % (iš vieno kW krintančios saulės šviesos pagamina 240 W elektros energijos), bet ir brangiausi dėl naudojamo visiškai gryno Silicio. Polikristaliniai moduliai yra pigesni, tačiau mažesnis jų efektyvumas lyginant su monokristaliniais. Amorfiniai moduliai yra pigiausi, nes jų pagaminimas yra nesudėtingas (skaidri plokštelė padengiama labai plonu silicio sluoksniu), bet ir mažiausią efektyvumo lygį turintys fotomoduliai, todėl naudojami tik mažos galios įrenginiuose – skaičiuotuvuose, laikrodžiuose ir pan.

Daugiau nei pusę rinkos užima monokristalinio silicio fotomoduliai. Kita dalis tenka amorfiniam siliciui ir silicio juostoms.

1.2.1. Amorfiniai fotomoduliai

Šis modulis yra gaminamas iš plonų silicio amorfinių celių. Vizualiai modulyje nesimato taip ryškiai išsiskiriančių celių, kaip tradicinėse silicio mono- ir poli- moduliuose. Celės atrodo kaip ištisinis, tamsiai rudas ar juodas paviršius. Šis modulis pasižymi santykinai žema kaina ir labai mažu naudingumo koeficientu. Šio modulio privalumu yra labai žemas galios sumažėjimo rodiklis, kylant aplinkos temperatūrai. Deja šie moduliai labai silpnai absorbuoja infraraudonuosius spindulius, todėl juos iš rinkos išstūmė hibridiniai sprendimai, t. y. modululiai, pagaminti iš amorfinio ir polikristalinio silicio μc-Si, kurie turi didesnį naudingumo koeficientą ir efektyviau veikia, esant silpnam apšvietimui (absorbuoja infraraudonuosius spindulius).

Privalumai:

- Žema kaina
- Žemas temperatūrinis galios koeficientas (0.18 – 0.25 %/C), todėl karštą vasaros dieną neženkliai sumažėja generuojama galia

Trūkumai:

- Didelis našumo sumažėjimas jau pirmaisiais eksploatacijos mėnesiais
- Žemas našumas, tik 6-10%
- Didelis svoris

- Paprastai turi berėmę konstrukciją, kas labai apsunkina montavimo darbus ir sumažina mechaninį atsparumą

1.2.2. Polikristaliniai fotomoduliai

Gaminant polikristalinius fotomodulius gamybos procese pakinta dalies silicio kristalų struktūra. Jų mažesnis efektyvumas lyginant su monokristaliniais fotomoduliais ~ 18%. Polikristalinis fotoelementas sudarytas iš mažų monokristalinio silicio grūdelių. Saulės elementas iš polikristalinio silicio gali būti pagamintas keliais būdais. Viena iš pagrindinių technologijų apima išlydyto monokristalinio silicio atidžią liejimo kontrolę į lydinį. Tuomet lydiniai yra mechaniškai pjaustomi į kvadratinius elementus ir toliau galutinis saulės elementas gaminamas kaip ir monokristalinio silicio saulės elementas.

Privalumai:

- Palanki kaina
- Galima naudoti su bet kuriuo tinklo inverterio ar įkrovimo valdiklio tipu
- Sąlyginai didelė vieno modulio galia, kas mažina bendrą modulių skaičių ir palengvina montavimo darbus

Trūkumai:

- Aukštas temperatūrinis galios koeficientas (0.40 – 0.47%/C), todėl karštą vasaros dieną sumažėja generuojama galia
- Mažesnis naudingumo koeficientas lyginant su monokristaliniais fotomoduliais

1.2.3. Monokristaliniai fotomoduliai

Gaminami iš visiškai gryno silicio. Jų efektyvumas siekia ~ 24% (iš vieno kW krintančios saulės šviesos pagamina 240 W elektros energijos). Monokristalinio silicio fotomoduliai gali būti tiek apskriti, tiek kvadratiniai. Kvadratinio elemento vato kaina yra šiek tiek žemesnė dėl to, kad kvadratiniams elementams pjaustoma silicio juosta, o ne strypas, o tai susiję su mažesniais silicio nuostoliais plokštelių pjaustymo metu.

Privalumai:

- Aukštas naudingumo koeficientas
- Galima naudoti su bet kuriuo keitikliu ar įkrovimo valdiklio tipu
- Sąlyginai didelė vieno modulio galia, kas mažina bendrą modulių skaičių ir palengvina montavimo darbus
- Geras našumas esant silpnai saulės spinduliuotei

Trūkumai

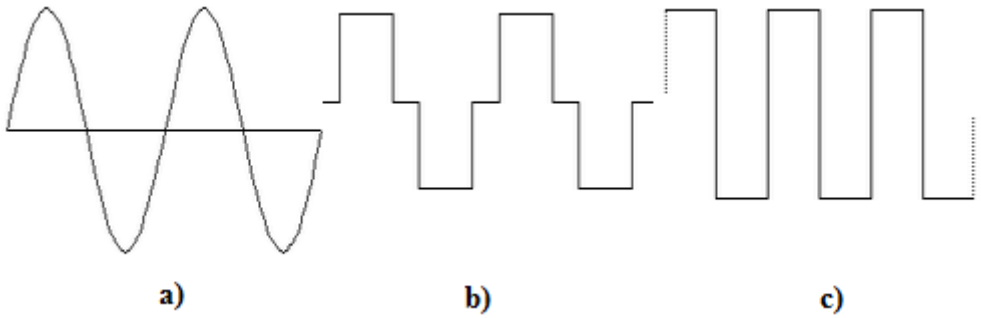
- Aukšta kaina
- Aukštas temperatūrinis galios koeficientas (0.43 – 0.5 %/C), todėl karštą vasaros dieną sumažėja generuojama galia

1.3. Keitikliai

Fotomoduliai generuoja nuolatinę srovę, todėl sistemai yra būtinas keitiklis. Jis nuolatinės srovės elektros energiją paverčia į kintamos.

Pagal išėjimo įtampos kreivės formą keitikliai skirstomi į tris grupes:

1) Stačiakampės laiptuotos išėjimo įtampos, sudarytos iš nedidelio laiptelių skaičiaus (dažniausiai 4 laipteliai į periodą) – meandriniai inverteriai;
2) Modifikuotos sinusinės išėjimo įtampos, sudarytos iš didelio laiptelių skaičiaus (apie 50 laiptelių į periodą) – modifikuoto sinuso inverteriai;
3) Sinusinės išėjimo įtampos – sinusiniai inverteriai



1 pav. a) sinusinė išėjimo įtampa; b) modifikuota sinusinė išėjimo įtampa c) stačiakampė laiptuota išėjimo įtampa. [4]

Pirmosios grupės keitikliai yra pigiausi, trečiosios – brangiausi. Pirmosios grupės keitikliai tinka 90% visų elektros energijos imtuvų maitinimui (gali netikti kompiuteriams, lazeriniams spausdintuvams, bei transformatoriniams įkrovikliams, kai kuriems televizoriams). Antros ir trečios grupės inverteriai tinka praktiškai visiems imtuvams. Keitiklio kaina sparčiai kyla didėjant jo galiai. Naudojant modifikuotos sinusinės išėjimo įtampos keitiklius kaikurie prietaisai (šaldytuvai, siurbliai, ventiliatoriai ir t.t) naudoja maždaug 20% daugiau galios. Taip yra todėl, kad keitiklio dažnis padidėja iki 60 Hz.

1.4. Saulės elektrinių apsauga

1.4.1. Apsauga nuo trumpųjų jungimų

Keitikliams apsaugoti nuo trumpųjų jungimų naudojami automatiniai jungikliai. Automatinis jungiklis yra įtaisas, kuris atjungia elektros grandinę atsiradus gedimui, tuo apsaugodamas elektros

imtuvą ir maitinimo grandinę. Daugeliu atvejų automatiniai jungikliai yra daug lankstesnė saugiklių alternatyva, nes yra lengvai atstatomi ir jų nereikia keisti atsiradus gedimui. Gedimai – tai dažniausiai perkrovos ir trumpieji jungimai, bet jungikliai taip pat sugeba apsaugoti nuo fazinės įtampos patekimo ant įžemintų elektros įrenginio dalių.

Automatiniai jungikliai būna įvairių formų bei dydžių, bet labiausiai paplitę yra šių tipų: miniatiūriniai automatiniai jungikliai, ardomo korpuso automatiniai jungikliai bei skirtuminės srovės įrenginiai.

Pats paprasčiausias miniatiūrinis automatinis jungiklis yra jungiklis tik su bimetaliniu atkabikliu. Jis yra paprastas ir nebrangus. Toks jungiklis gerai apsaugo nuo mažų ir vidutinių perkrovų, tačiau bimetalinis atkabiklis lėtai suveikia esant didelėms perkrovoms. Todėl esant trumpam jungimui grandinė yra blogai apsaugoma. Tokie jungikliai turi būti naudojami grandinėse, kuriose svarbiausias reikalavimas yra apsauga nuo perkrovos ir kur trumpojo jungimo srovė neviršija 1000 A.

Dažniausiai yra naudojami termo-magnetiniai automatiniai jungikliai. Jie turi šiluminius atkabiklius, atjungiančius elektros grandinę esant mažoms ir vidutinėms perkrovoms. Papildomai yra sumontuoti elektromagnetiniai atkabikliai, kurie akimirksniu atjungia elektros grandinę esant didelėms perkrovoms ar trumpiems jungimams.

Automatiniai jungikliai su temperatūrine kompensacija sumažina savo suveikimo srovę automatiškai, pakilus aplinkos temperatūrai. Tai leidžia užtikrinti efektyvią grandinių apsaugą esant įvairiai aplinkos temperatūrai.

Pasirenkant automatinį jungiklį, svarbu atsižvelgti į 3 faktorius:

- Nominali srovė
- Suveikimo charakteristika
- Maksimali atjungimo srovė

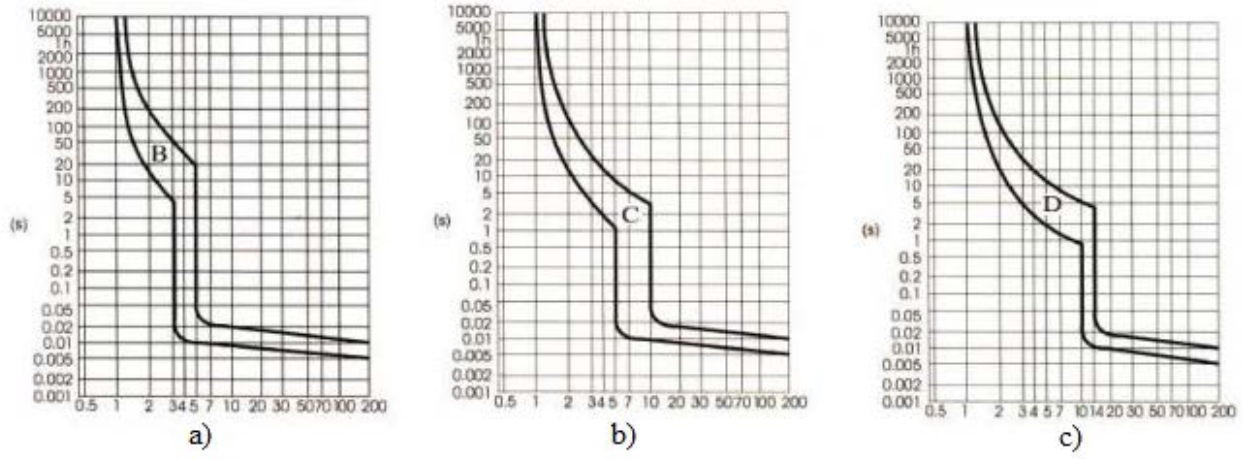
Nominali srovė

Nominali srovė – tai srovė, kurią automatinis jungiklis gali atlaikyti nesuveikdamas. Automatinis jungiklis parenkamas su tokia srove, kad ji būtų lygi ar truputį didesnė nei saugoma grandine tekanti srovė.

Suveikimo charakteristika

Teoriškai automatinis jungiklis turi suveikti iškart, kai tik atsiranda gedimas. Tai yra reikalinga, kai grandinėje atsiranda trumpasis jungimas, tačiau, kai grandinėje atsiranda perkrova, situacija darosi komplikuota. Automatinis jungiklis, kuris suveikia iškart, suveiks kiekvieną kartą, atsiradus srovės impulsui, taigi tokio jungiklio panaudoti praktiškai bus neįmanoma. Todėl automatinio jungiklio šiluminis atkabiklis suprojektuojmas taip, kad atsiradus srovės impulsui, atkabiklis nespėtų suveikti (įkaisti). Gamintojai projektuodami šiluminius atkabiklius nustato, kokio dydžio srovės impulsą ir kiek laiko automatinis jungiklis atlaikys neišsijungdamas. Sąsaja tarp srovės ir suveikimo laiko paprastai

yra nubraižoma kaip kreivė, vadinama automatinio jungiklio suveikimo charakteristika. Kad vartotojams nereikėtų dirbti su kreivėmis, BS EN 60898 standartas numato kelias standartines charakteristikas, svarbiausios jų yra B, C ir D. Daugeliu atveju saugomam įrenginiui yra lengva pasirinkti automatinį jungiklį pagal charakteristiką.



2 pav. a) B tipo charakteristika; b) C tipo charakteristika; c) D tipo charakteristika; [5]

Kreivėse pavaizduotas suveikimo laikas priklausomai nuo perkrovos srovės.

B charakteristikos automatiniai jungikliai suveikia esant nedidelėms perkrovoms. Jie nustatyti suveikti, kai srovė, tekanti per jungiklį, bus nuo 3 iki 5 kartų didesnė už jungiklio nominalią srovę

C charakteristikos automatiniai jungikliai mažiau jautrūs ir yra rekomenduojami naudoti tinkluose su induktyvinėmis apkrovomis, kai grandinėje galimas didelis srovės padidėjimas. C charakteristikos jungikliai nustatyti suveikti, kai srovė, tekanti per jungiklį, bus nuo 5 iki 10 kartų didesnė už jungiklio nominalią srovę. Šio tipo automatiniai jungikliai naudojami saulės elektrinių apsaugai nuo trumpųjų jungimų.

D charakteristikos automatiniai jungikliai yra dar mažiau jautrūs, ir yra nustatyti suveikti, kai srovė, tekanti per jungiklį, bus nuo 10 iki 20 kartų didesnė už jungiklio nominalią srovę. Jie rekomenduojami naudoti grandinėse, kur galimas labai didelis srovės padidėjimas, pvz.transformatorių ir suvirinimo mašinų maitinimui.

Galutinis faktorius, į kurį turi būti atsižvelgta renkantis automatinį jungiklį, yra maksimali atkirtos srovė. Ji turi būti visada didesnė už laukiamą trumpojo jungimo srovę tame taške, kur stovės automatinis jungiklis.

Fotomodulių trumpojo jungimo srovė išauga tik 15%- 20% lyginant su nominalia srove. Kai fotmoduliai nėra apkrauti (negeneruoja elektros srovės), ant jų gnybtų yra nominali įtampos vertė, net jeigu apšvietimas yra nežymus. O generuojamos srovės dydis priklauso nuo saulės spinduliuotės intensyvumo. Esant gedimui arba krentant šešėliui, per modulius tekės trumpojo jungimo srovė, dėl to gali kilti net gaisras. Kad apsaugoti fotomodulius nuo aprašytų atvejų, rekomenduojama naudoti saugiklius. Apsaugai naudojami specialūs 10×38 mm cilindriniai saugikliai. Saugikliai yra įstatomi į

specialius kirtiklius ir montuojami ant bėgelio paskirstymo skydelyje. Šie saugikliai turi specialią laiko-srovės charakteristiką, primenančią puslaidininkinėje technikoje naudojamų ultra greitų saugiklių charakteristiką gR, tik jų galios nuostoliai beveik dvigubai mažesni.

1.4.2. Apsauga nuo viršįtampių

Elektros tinkle turi būti įrengtos techninės priemonės, turinčios tiekiamos elektros kokybę. Vienas iš keleto, elektros kokybę, reglamentuojamą norminių teisių aktų. Viens iš apibrėžiančių parametrų yra viršįtampių lygis. Esant normalioms darbo sąlygoms, įtampa tinkle arba elektros įrenginiuose dėl apkrovos kitimo svyruoja nuo 5 iki 10%.

Įrenginiai dirba sklandžiai, jei įtampa kinta ne per daug. Įtampos dydis juose negali būti didesnis už didžiausią darbinę įtampą. Įtampa, didesnė už šią vertę vadinama viršįtampiu.

Viršįtampiai atsirandantys elektros grandinėse skirstomi į: vidinius, atmosferinius ir statinius.

Vidiniai viršįtampiai, dar vadinami komutaciniais, atsiranda įjungiant ir išjungiant didelės galios elektros vartotojus, ypač induktyvinio ar talpinio pobūdžio. Jie paprastai neviršija 2,5Un.

Atmosferiniai – atsiranda kuomet žaibo išlydis pataiko į maitinamą elektros tinklą arba netoli jo.

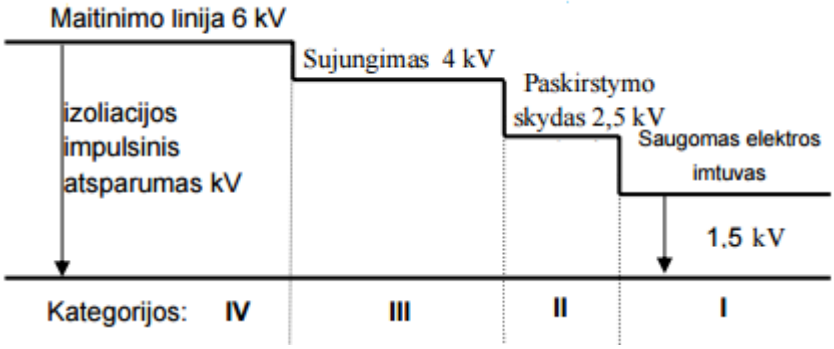
Statiniai – kyla susikaupus skirtingiems elektros krūviams, elektrostatinių iškrovų metu. Tiesioginis arba netolimas žaibo išlydis į elektros maitinimo liniją sukelia iki 100 kA srovę, kurios frontas yra mažesnis negu 10 ms. Žaibo išlydžio srovė apie save sukelia labai stiprų greitai besikeičiantį magnetini lauką, kuris visuose ilguose elektros tinklo laidininkuose indukuoja nuo keleto iki keliolikos dešimtčių kV įtampas. Šiuolaikinės elektroninės įrangos jautrumas viršįtampiams neviršija 1,5 kV.

Pats svarbiausias viršįtampių ribotuvo elementas – varistorius. Varistorius – tai rezistorius, padarytas iš cinko oksido (ZnO) arba silicio karbonato SiC. Tai bekibirkštinis, nelinijinis elementas, kurio varža priklauso nuo įtampos ant jo gnybtų. Varistorinis elementas turi didelę varžą esant nominaliai įtampai ir mažą – esant įtampai iki kelių dešimčių kV. Normalaus darbo metu viršįtampių ribotuvo elementas – varistorius yra prijungtas prie tinklo įtampos. Tuo metu per jį teka silpna srovė (neviršijanti 0,5 mA), o jo elektrinė varža didesnė nei 1000 MΩ (viršįtampių ribotuvas pasyvus-veikia kaip izoliatorius). Varistorio apsauginis efektas pasireiškia tuomet, kai ant jo gnybtų staiga pakyla įtampa. Tada jis pereina į laidumo būseną, praleisdamas iškrovos srovę į žemę, keliasdešimt nanosekundžių greičiu (viršįtampių ribotuvas aktyvus - veikia kaip laidininkas), apsaugodamas jautrius viršįtampiams elektros imtuvus. Esant laidumo būklei elektrinė varža krinta iki 0,01 MΩ.

Varistorio pagrindinis privalumas lyginat jį su kibirkštiniais viršįtampių ribotuviais - trumpas suveikimo laikas.

Viršįtampių ribotuvai instaliuojami kiek galima arčiau saugomų įrenginių, o jų įžeminimo laidas trumpiausiu keliu sujungiamas su įrenginių korpusu. Viršįtampių ribotuvai montuojami prie viršįtampiams jautrių imtuvų,

Vidinių įrenginių apsauga nuo viršįtampių priklausomai nuo jų jautrumo viršįtampiams, vyksta viena, dviem, trim arba netgi keturiom pakopom. [6]



3 pav. Viršįtampių kategorijos elektros tinkle. [7]

Kategorija IV – apima elektros maitinimo linijas, skirstomuosius skydus, kurių atsparumas viršįtampiams neviršija 6 kV, atlaikantys tiesioginius atmosferinius viršįtampius, pastato išorėje.

Kategorija III – apima elektros linijas po skirstomųjų skydų pastato viduje. Iki jos, instaliacija apsaugota A tipo viršįtampių ribotuvu tiesioginio atmosferinio ar vidinio viršįtampio atveju. Šios kategorijos atsparumas viršįtampiams neviršija 4 kV

Kategorija II – apima elektros instaliaciją po skirstomojo skydelio pastato viduje. Atsparumas viršįtampiams turi būti nemažiau kaip 2,5 kV B.

Kategorija I – apima, paskutinę instaliacijos dalį, prie kurios prijungta saugomi nuo viršitampių elektros vartotojai.

1.4.3. Įžeminimas

Įžemėjimas yra labiausiai paplitęs saulės elektrinių gedimas. Šis gedimas dažniausiai atsiranda dėl kabelių izoliacijos pažeidimų. Aptarnaujančio personalo apsaugai ir patikimam apsaugos priemonių darbui įrengiamas įžeminimo kontūras.

Paprastai įžeminimo įrenginys įrengiamas po įžeminamu objektu. Įžeminimo įrenginys gali būtu įrengtas ir šalia elektrinės. Dažniausiai tinklas daromas iš juostinio plieno. Įžeminimo įrenginio konstrukcijos formą nulemia fotomodulių išdėstymas. Geriausia sudaryti tokį įžeminimo kontūrą, kad nutraukus jį vienoje vietoje nenutrūktų visas kontūras.

Elektros energetikos sistemoje įžeminimo įrenginys apibrėžiamas kaip įžemintuvo ir įžeminimo laidininkų visuma. Įžeminimo laidininkas jungia įžeminamą įrenginį su įžemintuvu arba įžeminimo magistrale.

Įžeminimo įrenginys sudaromas iš dirbtinių ir natūraliųjų įžemintuvų. Įžemintuvas – grunte esančių elektrodų, jungiamųjų laidininkų ir išlyginamojo tinklo visuma. Dirbtiniai įžemintuvai turi būti variniai, plieniniai arba gelžbetoniniai – nedažyti. Plieniniai įžemintuvai gali būti padengti arba nepadengti laidžia antikorozine danga. Jų skerspjūvis parenkamas pagal didžiausią įžemėjimo srovę, neatsižvelgiant į prijungtų įžeminimo įrenginių skaičių.

Minimalūs įžeminimo įrenginio elementų konstruktyviniai parametrai, dėl korozijos: [8]

- apvalaus plieno skersmuo – 6 mm;
- metalinės juostos storis – 4 mm;
- metalinės juostos skerspjūvio plotas – 48 mm^2;
- metalinio kampuočio storis – 4 mm;
- vamzdžio sienelių storis – 3,5 mm.

Įžeminimo įrenginys yra įrengiamas grunte, todėl svarbu, kad eksploatuojant įrenginį jį gali veikti korozija, ypač aktyviuose korozijai gruntuose. Esant korozijos pavojui, įrenginiams įžeminti turi būti naudojami korozijai atsparūs laidininkai arba turi būti įrengta elektrinė apsauga nuo korozijos.

Išilginiai ir skersiniai horizontalieji jungiamieji laidininkai turi būti išdėstyti taip, kad prisilietimo įtampa neviršytų leistinosios ir kad būtų patogu prijungti įžeminamuosius įrenginius. Įžeminimo įrenginiai turi būti pakloti ne mažesniame kaip 0,3 m gylyje. Įžeminimo kontūro varža bet kuriuo metų laiku negali viršyti 10 Ω. [9]

1.5. Saulės elektrinių prijungimas prie tinklo

1.5.1. Nuostoviosios tinklo įtampos kitimas

Elektrinei veikiant tinklo įtampa pakyla ir tai gali būti elektrinių prietaisų gedimų priežastimi. Elektros kokybės standarte leistinieji įtampos pokyčiai apriboti ±10% intervalu. [10] Vadinasi nuostoviosios įtampos kitimo ribos saulės elektrinei veikiant ir neveikiant 10 kV tinkle neturi išeiti už kokybiškos įtampos ribų.

Nuostoviosios tinklo įtampos leistinasis padidėjimas yra skaičiuojamas didžiausios elektrinės generuojamos galios režime, kai tariama, kad vietinis vartojimas yra minimalus. Jei minimumo lygis nežinomas, galima priimti, kad vietinės apkrovos nėra. Labai dažnai nežinomi realūs įtampos lygiai didžiausių vietinės apkrovų metu, todėl dar papildomai skaičiuojamas šis, žemiausių įtampų lygių, režimas. Jei įtampos netelpa į leistinąjį intervalą, tenka numatyti papildomas įtampos valdymo priemones. Norint išlaikyti įtampą leistino intervalo ribose pastotėje ant šynų palaikoma +5% padidinta įtampa 10,5 kV. Saulės elektrinei veikiant galimas režimas, kai dalį jos generuojamos galios suvartoja vietiniai vartotojai ir susidaręs galios perteklius nuteka į pastotės 10 kV šynas, tačiau įtampa linijoje nepakyla daugiau kaip 11 kV. Tai gerasis atvejis.

Blogasis atvejis susidaro, kai saulės elektrinės galia tiek didelė, kad vietinių vartotojų apkrova yra per maža, arba jų iš viso nėra. Tada galimas atvejis, kai saulės elektrinės prijungimo prie linijos taške įtampa tampa per daug aukšta ir viršija 11 kV ribą.

1.5.2. Trumpieji jungimai

Trumpas jungimas– įtampos turinčios elektros grandinės fazių susijungimas tarpusavyje, tarpusavyje ir su žeme arba tik su žeme, arba su įžemintomis elektros įrenginių pasyviosiomis dalimis tiesiogiai įžemintos neutralės tinkle.

Trumpųjų jungimų priežastys gali būti:

- Mechaninis elektros įrenginių izoliacijos pažeidimas (kabelių pažeidimas kasant gruntą, atramų nuvertimas, laidų nutrūkimas ir pan.);
- Atmosferiniai bei komutaciniai viršįtampiai;
- Klaidingos perjungimo operacijos skirstomuosiuose įrenginiuose (eksplotuojančio personalo kaltė);
- Gyvulių bei paukščių sukelti trumpieji jungimai;
- Pasenusi elektros įrenginių izoliacija ir kt.

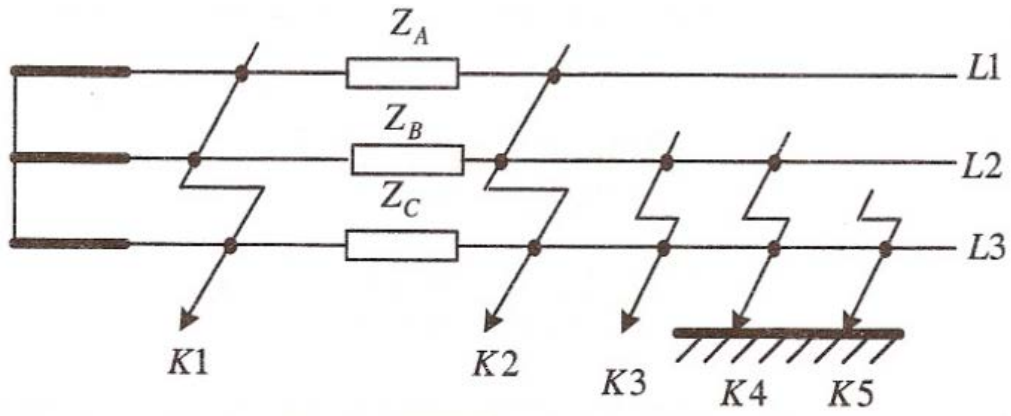
Trumpųjų jungimų pasekmės priklauso nuo trumpųjų jungimų vietos ir trukmės. Netoli generatoriaus įvykęs trumpasis jungimas gali pakenkti visai sistemai, tuo tarpu tolimi trumpieji jungimai turi įtakos tik atskiriems vartotojams. Trumpųjų jungimų pasekmės gali būti tokios:

- Srovinės dalys gali įkaisti iki neleistinos temperatūros, taip pat jos gali būti mechaniškai sužalotos;
- Elektros varikliai gali atsijungti nuo tinklo, sumažėjus maitinimo įtampai daugiau kaip 30-40%;
- Lygiagrečiai dirbančios elektrinės gali desinchronizuotis (kai trumpasis jungimas įvyksta netoli elektrinės)

Trifazės sistemos įvykstantys trumpieji jungimai gali būti simetriniai arba nesimetriniai.

Simetriniai trumpieji jungimai būna:

- Trifazis tarp generatoriaus gnybtų (4 pav., K1)
- Trifazis tinkle (4 pav., K2)



4 pav. Trumpųjų jungimų rūšys. [11]

Nesimetriniai trumpieji jungimai:

- Dvifazis (4 pav., K3)
- Dvifazis įžemėjimas (4 pav., K4)
- Vienfazis įžemėjimas (4 pav., K5)

Trumpieji jungimai priklauso nuo tinklo neutralės rėžimo. Dvifazis trumpasis jungimas (K3) ir dvifazis įžemėjimas (K4) yra skirtingi trumpieji jungimai tik tose sistemose, kurių neutralė įžeminta, arba kai atitinkamai susijungia laidai keturlaidėje žemos įtampos sistemoje su nuliniu laidu. Neįžemintos neutralės sistemoje dvifazis įžemėjimas sutampa su dvifaziu trumpuoju jungimu, o viendazis įžemėjimas (K5) nesudaro trumpojo jungimo.

Trumpojo jungimo srovės skaičiuojamos siekiant nustatyti didžiausius galimus trumpojo jungimo srovių stiprius, tikrinant aparatus ir laidininkus, atsižvelgiant į terminį ir mechaninį atsparumą, taip pat parenkant priemones trumpojo jungimo srovės ir jos poveikio trukmei riboti.

Skaičiuojamos šios trumpojo jungimo srovės dedamosios:

- $I_{0,2}$–periodinė efektinė srovė, kai t=0,2 s (pagal ją parenkami jungtuvai)
- I_0– efektinė periodinės dedamosios vertė, kai t=0 s.
- I_∞– nusistovėjusi efektinė srovė, kai t=∞ (pagal ją tikrinamas įrenginių terminis atsparumas);
- i_p– smūgio srovės amplitudė (pagal ją tikrinamas įrenginių mechaninis atsparumas)
- I_p– smūgio srovės efektinė vertė.

2. OBJEKTO PROJEKTAVIMAS

2.1. Objekto aprašymas.

Projektuojamas objektas – 100 kW galios saulės elektrinė. Elektrinės statymo vieta – Klaipėdos rajonas. Saulės elektrinė jungiama prie 10 kV tinklo. Tam projektuojama 0,4/10 kV transformatorinė. Elektrinei projektuojamas įžeminimo kontūras.

2.1.1. Fotomodulių parinkimas

Prokjektuojant saulės elektrinę pasirinkti monokristaliniai Lietuvoje gaminami Solet M60.6 - 255/270 fotomoduliai. Šie moduliai pasirinkti dėl savo didesnio naudingumo koeficiento lyginant su polikristaliniais moduliais

1 lentelė. Monokristalinių ir polikristalinių fotomodulių efektyvumo palyginimas.

Tipas	Efektyvumas, %
Monokristalinis modulis Solet M60.6-255/270	19,3
Polikristalinis modulis Solet P60.6-255	15,52

2 lentelė. Fotomodulio Solet M60.6 techniniai parametrai.

Parametras	Parametro reikšmė
Nominali galia $P_{N.mod}$, W	275
Nominali įtampa $U_{N.mod}$, V	32,4
Nominali srovė $I_{N.mod}$, A	8,5
Tuščiosios veikos įtampa $U_{t.v.}$, V	38,1
Trumpojo jungimo srovė $I_{t.j.}$, A	9,0
Naudingumo koeficientas η	19,3
Matmenys, mm	1640x992x42
Svoris, kg	21
Maximali įtampa U_{max}, V	1000

Reikalingas fotomodulių kiekis:

$$n_{mod.} = \frac{P_{SE.}}{P_{N.mod}}; \quad (1)$$

P_{SE} – projektuojama elektrinės galia, W;

$P_{N.mod}$ – fotomodulio galia. W;

n_{mod} – fotomodulių kiekis, vnt;

$$n_{mod.} = \frac{100000}{275} = 363{,}63 \approx 364\ vnt.;$$

2.1.2. Keitiklių parinkimas

Siekiant nuolatinę įtampą ir srovę, gaunamą iš fotomodulių, pakeisti į kintamą trifazę, tinkamą atiduoti į tinklą, naudojama ABB firmos TRIO-20 keitiklius. Pasirinkti mažesnės galios keitikliai, nes lyginant su vienu, bet didelės galios keitikliu jų pranašumai yra:

- Sugedus vienam iš keitiklių atsijungs tik dalis fotomodulių, o ne visa saulės elektrinė.
- Keitiklį galima pastatyti arčiau prijungiamų fotomodulių, taip sumažinant įtampos nuostolius.

3 lentelė. Keitiklio ABB TRIO-20.0 TL-OUTD techniniai parametrai.

ABB TRIO-20.0 TL-OUTD	
Nominalioji galia	20750 W
Įėjimo (NS – nuolatinė srovė)	

NS įėjimo įtampos intervalas, mpp (U_{DC})	440-800 V
Įėjimų skaičius	2
Maksimali vieno įėjimo įtampa ($U_{DC\ maks.}$)	800 V
Maksimali vieno įėjimo galia	12000 W
Maksimali vieno įėjimo srovė ($I_{DC,\ maks,}$)	25 A
Išėjimo (KS – kintamoji srovė)	
Nominalioji KS išėjimo galia (P_{AC})	20 kW
Maksimali išėjimo srovė ($I_{AC,maks.}$)	33 A
Tinklo įtampa ($U_{keit..}$)	400 V
Tinklo dažnis (f_{AC})	50/60 Hz
Įtampos pulsavimai, PV įtampa (U_{PV})	< 3%
Tinko harmoninis srovės iškraipymas (KI_{AC})	< 3%
Galio koef. (cosφ) kompensavimas	Taip
Tinklo struktūra	TN ir IT tinklas
Efektyvumas	
Maks. Efektyvumas ($P_{AC,\ maks.}$)	98.20%
Energijos suvartojimas	
Savasis energijos suvartojimas veikimo (P_{dienos})	40 W
Energijos suvartojimas budėjomo režime ($P_{nakties}$)	8 W
Pagalbinė išorinė įtampa	400 V, 50 Hz
Matmenys ir svoris	
Plotis/Aukštis/Gylis, mm (A/P/G)	1061x702x292 mm
Svoris	70 kg

Apskaičiuojamas reikalingas keitiklių kiekis:

$$n_{keit.} = \frac{P_{SE}}{P_{N.keit.}}; \quad (2)$$

$P_{N.keit.}$ – vieno keitiklio įėjimo galia, W;

$n_{keit.}$ – reikalingas keitiklių kiekis, vnt;

$$n_{keit.} = \frac{1000000}{20750} = 4.81 \approx 5\ vnt.;$$

2.1.3. Fotomodulių jungimas

Taigi elektrinei, reikės 364 fotomodulių ir 5 keitiklių. Siekiant paskirstyti generuojamą galią tolygiai kiekvienam keitikliui jungiama 72 fotomoduliai prie trijų keitiklių ir 74 moduliai prie dviejų keitiklių.

Į keitiklį su 72 fotomoduliais jungiama 2 blokai po 36 fotomodulius. Viename bloke sujungta dvi eilės po 18 fotomodulių nuosekliai ir abi eilės sujungtos lygiagrečiai. Į keitiklį su 74 moduliais

jungiama vienas blokas su 36 fotomoduliais ir vienas blokas su 38 fotomoduliais (19 modulių sujungta nuosekliai ir dvi eilės po 19 fotomodulių sujungta lygiagrečiai)

Bloko su 36 fotomoduliais įtampa:

$$U_{bl.36} = U_{N\ mod.1} + U_{N\ mod.2} + \cdots U_{N\ mod.18}; \quad (3)$$

$$U_{bl.36} \leq U_{DC\ maks.}; \quad (4)$$

$U_{N\ mod.}$ – fotomodulių atviros grandinės įtampa, V;

$n_{mod.sk.}$ – fotomodulių skaičius, vnt.;

$U_{bl.36}$– bloko (36 vnt. fotomodulių) įtampa, V;

$U_{Dc\ maks.}$– maksimali keitiklio vieno įėjimo įtampa, V;

$$U_{bl.36} = U_{N\ mod.} \cdot n_{mod\ sk} = 32{,}4 \cdot 18 = 583{,}2\ V;$$

$$583{,}2V < 800V;$$

Bloko su 36 fotomoduliais srovė:

$$I_{bl.36} = I_{N.eil.1} + I_{N.eil.2}; \quad (5)$$

$$I_{tinklo} \leq I_{DC\ maks.}; \quad (6)$$

$I_{bl.36}$ – bloko su 36 fotomoduliais srovė, A;

$I_{N.eil}$ – 18 fotomodulių sujungų nuosekliai srovė, A;

$I_{Dc\ maks.}$– maksimali keitiklio vieno įėjimo srovė, A;

$$I_{bl.36} = 8.5 + 8.5 = 17\ A;$$

$$17A < 25A$$

Bloko su 36 fotomoduliais galia:

$$P_{bl.36} = I_{tinklo} \cdot U_{tinklo} = 17 \cdot 583.2 = 9914{,}4\ W; \quad (7)$$

Pilnutinė keitiklio su 72 fotomoduliais įėjimo galia:

$$P_{keit.72} = n_{bl.sk.} \cdot P_{bl.36}; \quad (8)$$

$$P_{keit.72} \leq P_{N.keit.}; \quad (9)$$

$n_{bl.sk.}$ – blokų jungiamų į vieną keitiklį kiekis, vnt.;

$P_{keit.72}$ – keitiklio su 72 fotomoduliais galia, W;

$P_{bl.36}$ – bloko su 36 fotomoduliais galia, W.

$P_{N.keit.}$ –keitiklio maksimali įėjimo galia, W

$$P_{keit.72} = 2 \cdot 9914{,}4 = 19828{,}8\ W;$$

$$19830W < 20750W$$

4 lentelė. Bloko su 36 fotomoduliais ir keitiklio parametrai.

Parametras	Parametro reikšmė
Bloko įtampa $U_{bl.36}$, V	583,2
Bloko srovė $I_{bl.36}$, I	17
Bloko galia $P_{bl.36}$, W	9914,4
Keitiklio su 72 fotomoduliais galia $P_{keit.72}$, W	19828,8

Naudojantis tomis pačiomis formulėmis apskaičiuojama blokų su 38 fotomoduliais parametrus:

5 lentelė. Bloko su 38 fotomoduliais ir keitiklio parametrai.

Parametras	Parametro reikšmė
Bloko įtampa $U_{bl.38}$, V	615,6
Bloko srovė $I_{bl.38}$, I	17
Bloko galia $P_{bl.38}$, W	10465,2
Keitiklio su 74 fotomoduliais galia $P_{keit.72}$, W	20379,6

Pilnutinė saulės elektrinės galia :

$$P_{N.SE} = P_{keit.72} \cdot 3 + P_{keit.74} \cdot 2 = 19828{,}8 \cdot 3 + 20379{,}6 \cdot 2 = 100245{,}6\ W; \quad (10)$$

Iš padarytų skaičiavimų galima daryti išvadas, kad keitiklių ir saulės modulių kiekis parinktas ir sujungtas teisingai, nes yra tenkinami visi keitiklių ir pilnutinės elektrinės galios parametrai.

2.1.4. Modulių išdėstymo skaičiavimas

Fotomoduliai bus montuojami dviem eilėmis ant konstrukcijos. Pirmoje konstrukcijoje, vienoje eilėje bus 90 fotomodulių, iš viso 180 fotomodulių. Antroje konstrukcijoje bus sumontuota 184 fotomodulia, vienoje eilėje 92 fotomoduliai.

184 fotomodulių konstrukcijos matmenys:

$$b_{bloko} = b_{mod} \cdot n_{eil} = 0{,}992 \cdot 92 = 91{,}26\ m; \quad (11)$$

$$l_{bloko} = l_{mod} \cdot n_{eil.sk} = 1{,}64 \cdot 2 = 3{,}28\ m; \quad (12)$$

$$S_{bloko} =: l_{bloko} \cdot b_{bloko} = 91{,}26 \cdot 3{,}28 = 299{,}33\ m^2; \text{s:} \quad (13)$$

$$h_z = 0{,}17\ m;$$

b_{bloko} – bloko plotis, m.;

l_{bloko} – bloko ilgis, m;

S_{bloko} – bloko plotas, m^2;

b_{mod} – modulio plotis, m;

n_{eil} – modulių skaičius eilėje, vnt;

l_{mod} – modulio ilgis, m;

$n_{eil.sk}$ – eilių skaičius konstrukcijoje, vnt;

h_z – aukštis nuo žemės, m;

Naudojantis (11), (12), (13) formulėmis apskaičiuojama bloko su 180 fotomodulių matmenys:

$$b_{2bloko} = b_{mod} \cdot n_{2eil} = 0{,}992 \cdot 90 = 89{,}28\ m;$$

$$l_{bloko} = l_{mod} \cdot n_{eil.sk} = 1{,}64 \cdot 2 = 3{,}28\ m;$$

$$S_{2bloko} = l_{2bloko} \cdot b_{2bloko} = 89{,}28 \cdot 3{,}28 = 292{,}84\ m^2;$$s:

$$h_z = 0{,}17\ m;$$

Apskaičiuojama bloko konstrukcijos aušktis, atsižvelgiant į tai, kad fotomoduliai bus pasvirę 34 ° lapsnių kampu į horizontą.

$$h_{bloko} = l_{bloko} \cdot \sin(34°) = 3.28 \cdot 0{,}559 = 1{,}83\ m; \quad (14)$$

Konstrukcijos projekcijos į horizontą ilgis:

$$lp_{bloko} = b_{bloko} \cdot \cos(34°) = 3.28 \cdot 0{,}829 = 2{,}71\ m; \quad (15)$$

Norint apskaičiuoti atstumą tarp konstrukcijų, reikia nustatyti saulės sudaromą kampą su horizontu. Skaičiavimams pasirinkta šeši metų mėnesiai, kai saulė būna žemiausioje padėtyje. 6 lentelėje pateikiami saulės spindulių kritimo kampo 12h dienos metu rezultatai.

6 lentelė. Saulės sudaromas kampas su horizontu 12h nuo spalio iki kovo. [12]

Mėnuo	**Kampas**
Spalis	23,07 °
Lapkritis	13,93 °
Gruodis	10,63 °
Sausis	14,30 °
Vasaris	23,65 °
Kovas	34,36 °

Atstumas įvertinus saulės kritimo kampą skaičiuojamas:

$$D = \frac{h_{konstr.}}{tg(\alpha)}\ ; \quad (16)$$

D – atstumas tarp konstrukcijų, m.;

$h_{konstr.}$ – konstrukcijos aukštis nuo žemės, m.;

tg(α) – saulės spindulių kitimo kampas horizonto atžvilgiu, vnt;

$$D_{sausio} = \frac{1{,}83}{0{,}115} = 7{,}179\ m;$$

Naudojantis (16) formule apskaičiuojami atstumai kitais mėnesiais. Rezultatai pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Atstumas tarp konstrukcijų priklausomai nuo saulės spindulių kritimo kampo.

Mėnuo	Atstumas, m
Spalis	4,296
Lapkritis	7,378
Gruodis	9,750
Sausis	7,179
Vasaris	4,178
Kovas	2,676

Atsižvelgiant į gautus šešėliavimo duomenis parenkamas atstumas tarp konstrukcijų 10m.

Užimamo ploto skaičiavimas:

$$S_{SE} = (b_{2bloko} \cdot (lp_{bloko} + D)) + (lp_{bloko} \cdot b_{bloko}); \quad (17)$$

S_{SE} – saulės elektrinės užimamas plotas, m^2;

b_{bloko} –konstrukcijos su 184 fotomoduliais plotis:

lp_{bloko} – konstrukcijos projekcijos į horizontą ilgis, m;

D – atstumas tarp konstrukcijų, m :

b_{2bloko} – konstrukcijos su 180 fotomoduliais plotis, m;

$$S_{SE} = 89{,}28 \cdot (2{,}71 + 10) + (2{,}71 \cdot 91{,}26) = 1382{,}063\ m^2;$$

Saulės elekrinės elementų plotas:

$$S_{SE} = S_{bloko} + S_{2bloko} = 299{,}33 + 292{,}84 = 592{,}17\ m^2; \quad (18)$$

2.1.5. Kabelių parinkimas

Parenkami kabeliai, einantys nuo fotomodulių blokų iki keitiklių, apskaičiuojami galios ir įtampos nuostoliai linijoje.

K1-L1 linijos parametrai

$$I_{bl.36} = 17\ A;$$

$$U_{bl.36} = 583{,}2V;$$

Parenkamas 1x4 mm^2 nuolatinės srovės varinis kabelis, kurio vardinė įtampa 1kV, $r_0 = 5m\Omega/\text{m}$.

Apskaičiuojama linijos kabelio varžą:

$$R_L = L \cdot r_0; \quad (19)$$

R_L – linijos varža, Ω;

L – linijos ilgis, m;

r_0 – savitoji laidininko varža, $m\Omega/\text{m}$;

$$R_L = L \cdot r_0 = 40 \cdot 0{,}005 = 0{,}20\ \Omega;$$

Įtampos kritimas linijoje :

$$\Delta U = I_{bl.36} \cdot r_0 = 17 \cdot 0{,}2 = 3{,}4\ V; \quad (20)$$

Įtampos kritimas linijoje procentais:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{bl.36}} \cdot 100 = \frac{3{,}4}{583{,}26} \cdot 100 = 0{,}582\ \%; \quad (21)$$

Galios nuostoliai linijoje :

$$\Delta P = I_{bl.36}^2 \cdot R_L = 17^2 \cdot 0{,}2 = 57{,}80\ W; \quad (22)$$

Naudojantis (19-22) formulėmis apskaičiuojami likusių blokų linijų iki keitiklių įtampos ir galios nuostoliai. Skaičiavimų rezultatai pateikiami 8 lentelėje.

8 lentelė. Linijų jungiančių fotomodulių blokus ir keitiklius parametrai.

Linijos žymėjimas	Kabelio ilgis L, m	Linijos varža R_L,Ω	Įtampos nuostoliai ΔU,V	Galios nuostoliai ΔP,W	Įtampos nuostoliai proc. ΔU%
K1-L1	40	0,2	3,40	57,80	0,582
K1-L2	40	0,2	3,40	57,80	0,582
K2-L3	40	0,2	3,40	57,80	0,582
K2-L4	40	0,2	3,40	57,80	0,582
K3-L5	40	0,2	3,40	57,80	0,582
K3-L6	52	0,26	4,420	75,140	0,757
K4-L7	42	0,21	3,570	60,690	0,579
K4-L8	40	0,2	3,40	57,80	0,582
K5-L9	42	0,21	3,570	60,690	0,579
K5-L10	40	0,2	3,40	57,80	0,582

Nuo keitiklių iki paskirstymo skydo parenkamas 5x16 mm^2 varinis kabelis, kurio savitoji varža $r_0 = 1{,}25 m\Omega/\text{m}$. Kabelio leistinoji ilgalaikė srovė 75A. Kadangi keitikliai kompensuoja reaktyviąją galią, priimama cosφ=1.

Linijos įtampos nuostoliai:

$$\Delta U = \frac{P_{keit.72} \cdot L}{U_{keit.}} \cdot r_0; \quad (23)$$

ΔU – įtampos nuostoliai linijoje, V;

$U_{keit.}$ – keitiklio išėjimo įtampa, V;

$P_{keit.72}$ – keitiklio su 72 fotomoduliais galia, W;

R_0 – savitoji kabelio varža, $m\Omega/\text{m}$;

L – linijos ilgis, m;

$$\Delta U = \frac{19828{,}8 \cdot 20}{400} \cdot 0{,}00125 = 1{,}239\ V$$

Naudojantis (21) formule apskaičiuojamas įtampos kritimas linijoje procentais:

$$\Delta U_{\%} = \frac{1{,}239}{400} \cdot 100 = 0{,}309\ \%;$$

Galios nuostoliai linijoje :

$$\Delta P = \frac{{P_{keit.72}}^2 \cdot L}{{U_{keit.}}^2} \cdot r_0; \qquad (24)$$

$$\Delta P = \frac{19828{,}8^2 \cdot 20}{400^2} \cdot 0{,}00125 = 61{,}434\ W;$$

Naudojantis (19), (21),(22), (23), (24) formulėmis apskaičiuojami likusių linijų nuo keitiklių iki paskirstymo skydo įtampos ir galios nuostoliai. Skaičiavimų rezultatai pateikiami 9 lentelėje.

9 lentelė. Linijų jungiančių keitiklius ir paskirstymo skydą parametrai.

Linijos žymėjimas	Kabelio ilgis L, m	Linijos varža R_L,Ω	Įtampos nuostoliai ΔU,V	Galios nuostoliai ΔP,W	Įtampos nuostoliai proc. ΔU%
K1-PS	20	0,025	1,239	61,434	0,309
K2-PS	20	0,025	1,239	61,434	0,309
K3-PS	54	0,067	3,346	165,873	0,836
K4-PS	35	0,043	2,229	113,566	0,557
K5-PS	35	0,043	2,229	113,566	0,557

Norint parinkti kabelį nuo PS skydo iki transformatoriaus reikia, apsiskaičiuoti linijoje tekančią srovę. Pagal pirmąjį Kirchofo dėsnį:

$$I_L = I_{K1} + I_{K2} + I_{K3} + I_{K4} + I_{K5} \ ; \qquad (25)$$

$$I_K = \frac{P_{keit.iš.}}{U_{keit.} \cdot \sqrt{3} \cdot COS\varphi}; \qquad (26)$$

$$P_{keit.iš.} = P_{keit.} \cdot \eta; \qquad (27)$$

$U_{keit.}$ – keitiklio išėjimo įtampa, V;

$P_{keit.iš.}$ – keitiklio išėjimo galia, W;

$P_{keit.}$ – keitiklio įėjimo galia, W;

η – keitiklio naudingumo koeficientas =98,2%;

cosφ – galios koeficientas =1;

I_K – keitiklio išėjimo srovė, A;

I_L – srovė tekanti nuo PS skydo iki transformatoriaus, A;

$$P_{keit.72.iš.} = 19828{,}8 \cdot 0{,}982 = 19471{,}881\ W;$$

$$I_{K1} = \frac{19471{,}881}{400 \cdot \sqrt{3} \cdot 1} = 28{,}105\ A;$$

Naudojantis (26) ir(27) formulėmis apskaičiuojama likusių keitklių srovės. Rezultatai pateikiami 10 lentelėje.

10 lentelė. Keitiklių išėjimo galios ir srovės.

Keitiklis	Išėjimo galia $P_{keit.iš.}$,W	Keitiklio išėjimo srovė I_K,A
K1	19471,881	28,105
K2	19471,881	28,105
K3	19471,881	28,105
K4	20012,767	28,885
K5	20012,767	28,885

Remiantis gautais duomenimis ir naudojantis (25) formule, linijos nuo PS skydo iki transformatoriaus srovė yra:

$$I_L = 28{,}105 + 28{,}105 + 28{,}105 + 28{,}885 + 28{,}885 = 142{,}085 \text{ A};$$

Parenkamas 5x50 mm^2 storio kabelis su varinėmis gyslomis, atsparus UV spinduliams ir tinkamas kloti žemėje. Kabelio savitoji varža $r_0 = 0{,}4 m\Omega/\text{m}$, $x_0 = 0{,}06 m\Omega/\text{m}$. Kabelio leistinoji ilgalaikė srovė 145 A.

$$X_L = x_0 \cdot L; \tag{28}$$

$$z_\Sigma = \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}\,; \tag{29}$$

$$\Delta U = \frac{\sum P_{keit.iš.} \cdot L}{U_{keit.}} \cdot (r_0 + x_0 tg\varphi); \tag{30}$$

$$\Delta \text{P} = \frac{\sum P_{keit.iš.}{}^2 \cdot L}{U_{keit.}{}^2} \cdot (r_0 + x_0 tg\varphi); \tag{31}$$

Naudojantis (19), (21), (28), (29), (30), (31) formulėms apskaičiuojami linijos įtampos ir galios nuostoliai. Rezultatai pateikti 11 lentelėje.

11 lentelė. Linijos jungiančios paskirstymo skydą ir transformatorių parametrai.

Linijos žymėjimas	Kabelio ilgis L, m	Linijos varža Z_L,Ω	Įtampos nuostoliai ΔU,V	Galios nuostoliai ΔP,W	Įtampos nuostoliai proc. ΔU%
PS-T	10	0,00404	0,986	242,290	0,246

Naudojantis tomis pačiomis formulėmis, kaip ir parenkant kabelį nuo paskirstymo skydo iki transformatoriaus, parenkamas 10 kV 5x35 mm^2 storio kabelis su varinėmis gyslomis jungiantis transformatorinę ir atramą 300/44. Kabelio savitoji varža $r_0 = 0{,}57 m\Omega/\text{m}$, $x_0 = 0{,}06 m\Omega/\text{m}$. Kabelio leistinoji ilgalaikė srovė 150 A. Apskaičiuoti įtampos ir galios nuostoliai pateikti 12 lentelėje.

12 lentelė. 10 kV kabelio jungiančio transformatorinę ir atramą parametrai.

Linijos žymėjimas	Kabelio ilgis L, m	Linijos varža Z_L,Ω	Įtampos nuostoliai ΔU,V	Galios nuostoliai ΔP,W	Įtampos nuostoliai proc. ΔU%
T-300/44	20	0,011	0,112	1,106	0

Nuo atramos 300/44 iki TP-371 srovė tekės esama 3x70 mm^2 oro linija.

2.1.6. Transformatoriaus parinkimas

Galios transformatoriai paprastai parenkami pagal maksimalią pastotės apkrovą, įvertinant apkrovos augimą penkių metų perspektyvoje, arba pagal apkrovimo grafiką. Ekonomiškumo sumetimais parenkamas galios transformatorius su mažesne galia, kad pikinių apkrovų metu jis būtų pilnai apkrautas, arba netgi perkrautas, tačiau tai tinka tuomet, jeigu maksimali apkrova yra trumpalaikė. Saulės elektrinės prijungimui šios sąlygos netinka, kadangi saulėtos dienos būna nuo keleto dienų iki keleto savaičių, tai priklauso nuo metų laiko ir dėl to nėra trumpalaikės. Dėl šios priežasties galios transformatorių saulės elektrinėje parenkame pagal maksimalią elektrinės galią. Transformatorių galingumas turi būti artimiausias apskaičiuotam saulės elektrinės galingumui, t.y. parinkimo sąlyga:

$$S_T > S_{SK.}; \quad (32)$$

Kadangi skaičiuojamuoju atveju saulės elektrinė jungiama per transformatorinę pastotę į 10 kV tinklą, tai nereikia rūpintis, kad avarijos metu būtų užtikrintas visų pirmos kategorijos ir dalies svarbiausių antros kategorijos vartotojų energijos poreikis.

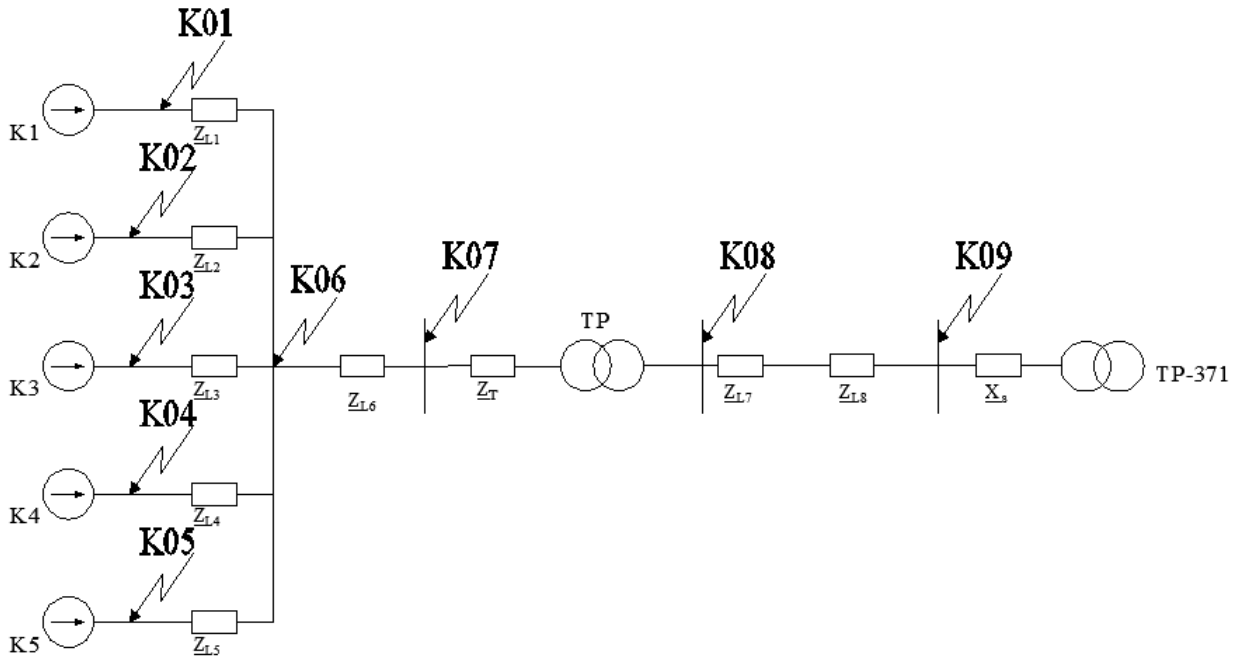
Parenkamas transformatorius tenkinantį (32) formulės sąlygą. Transformatoriaus parametrai pateikti 13 lentelėje.

13 lentelė. Transformatoriaus parametrai.

Transformatorius	Galia $S_{sk.}$, kVA	Tipas	Įtampa		P_0, kW	P_k, kW	U_k, %
			U_A, kV	$U_Ž$, kV			
T1	TMG 100	S9-M	10,5	0,4	0,260	1,750	4

2.1.7. Trumpųjų jungimų skaičiavimas

Norint parinkti apsaugos aparatus, reikia apskaičiuoti trumpojo jungimo sroves. Trumpųjų jungimų srovėms skaičiuoti naudojama ekvivalentinė tinklo schema parodytą 5 paveikslėlyje.



5 pav. Elektros tinklo ekvivalentinė schema

Trumpųjų jungimų srovės keitikliuose yra 1,4 karto didesnės už keitiklių išėjimo sroves ir yra pateiktos 14 lentelėje.

14 lentelė. Keitiklių trumpojo jungimo srovės.

Keitiklis	Trumpojo jungimo srovė I_{TJ}, A
K1	39,347
K2	39,347
K3	39,347
K4	40,439
K5	40,439

Trumpojo jungimo srovė taške K09 yra žinoma $I^{(3)}_{K09}$= 9,8 kA.

Realios sistemos varža, kai yra žinoma sistemos šynų TJ srovė $I^{(3)}_{K09}$ apskaičiuojama:

$$x_S = \frac{U_{vid}}{\sqrt{3}\cdot I^{(3)}_{K09}}; \quad (33)$$

x_s– sistemos varža, Ω ;

U_{vid}– tinklo įtampa, V;

$I^{(3)}_{K09}$ – K09 trumpojo jungimo srovė, A;

$$x_S = \frac{10500}{\sqrt{3}\cdot 9800} = 0{,}618\ \Omega;$$

Naudojantis (19), (28), (29) formulėmis apskaičiuojama L8 linijos pilnutinė varža (kitų linijų varžos paimamos iš 8, 9, 11, 12 lentelių)

$$z_{L8} = \sqrt{(1{,}488)^2 + (0{,}186)^2} = 1{,}499\ \Omega;$$

Pilnutinė transformatoriaus varža:

$$Z_T = \frac{U_{Tj,\%} \cdot U_p^2}{100 \cdot S_{TN}}; \quad (34)$$

$U_{Tj,\%}$ – transformatoriaus trumpojo jungimo įtampa ,%;

U_p– vardinė įtampa galios transformatoriaus, V;

S_{TN} – vardinė galios transformatoriaus galia ,VA.

$$Z_T = \frac{4 \cdot 10500^2}{100 \cdot 100000} = 44{,}1\ \Omega.$$

Trumpojo jungimo srovė iš TP-371 ant 10 kV transformatoriaus šynų apskaičiuojama:

$$I^{(3)}_{TP-L300K08} = \frac{U_p}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(x_S + z_{L8} + z_{L7})}; \quad (35)$$

$$I^{(3)}_{TP-L300K08} = \frac{10500}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(0{,}618 + 1{,}499 + 0{,}011)} = 2848{,}767\ \text{A};$$

Trumpojo jungimo srovė iš TP-371 ant 0,4 kV transformatoriaus šynų apskaičiuojama:

$$I^{(3)}_{TP-L300K07} = \frac{U_p}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(x_S + z_{L8} + z_{L7} + z_T)} \cdot \frac{U_P}{U_{vid}} = \frac{10500}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(0{,}618 + 1{,}499 + 0{,}011 + 44{,}1)} \cdot \frac{10500}{400} =$$

$$= 3442{,}332\ A;$$

Trumpojo jungimo srovė iš TP-371 ant PS skydo 0,4 kV šynų apskaičiuojama:

$$I^{(3)}_{TP-L300K06} = \frac{U_p}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(x_S + z_{L8} + z_{L7} + z_T + z_{L6})} \cdot \frac{U_P}{U_{vid}} = \frac{10500}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(0{,}618 + 1{,}499 + 0{,}011 + 44{,}1 + 0{,}004)} \cdot$$

$$\cdot \frac{10500}{400} = 3442{,}035\ A;$$

Trumpojo jungimo srovė K01 linijoje L1 apskaičiuojama naudojant (33), (35) formules (linijos varža iš 8 lentelės) :

$$x_{SK01} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 39{,}347} = 5{,}869\ \Omega;$$

$$I^{(3)}_{K01} = \frac{U_p}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(x_{SK01} + z_{L1})} = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(5{,}869 + 0{,}025)} = 39{,}182\ A;$$

Trumpojo jungimo srovė K02=K01=39,182 A.

Skaičiuojant trumpojo jungimo srovę K03 linijoje L3 sistemos varža yra tokia pati kaip ir linijoje L1 $x_{SK01} = 5{,}869\ \Omega$ (linijos varža iš 8 lentelės). Trumpojo jungimo srovė apskaičiuojama:

$$I^{(3)}_{K03} = \frac{U_p}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(x_S + z_{L3})} = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(5{,}869 + 0{,}067)} = 38{,}905\ A;$$

Trumpojo jungimo srovė K04 linijoje L4 (linijos varža iš 8 lentelės) apskaičiuojama :

$$x_{SK04} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 40{,}439} = 5{,}710\ \Omega;$$

$$I^{(3)}_{K04} = \frac{U_p}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(x_S + z_{L4})} = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(5{,}71 + 0{,}067)} = 39{,}975\ A;$$

Trumpojo jungimo srovė K05 linijoje L5 (linijos varža iš 8 lentelės) apskaičiuojama:

$$x_{SK05} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot 40{,}439} = 5{,}710\ \Omega;$$

$$I^{(3)}_{K05} = \frac{U_p}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(x_S + z_{\mathrm{L5}})} = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(5{,}71 + 0{,}043)} = 40{,}142\ A;$$

Perskaičiuojamos trumpojo jungimo srovės K06 taške įvertinant saulės elektrinės trumpo jungimo srovę:

$$I^{(3)}_{K06} = \sum\left(I^{(3)}_{K01} - I^{(3)}_{K05}\right) + I^{(3)}_{TP-L300K06} = 197{,}386 + 3442{,}035 = 3639{,}421\ \text{A};$$

Perskaičiuojamos trumpojo jungimo srovės K07 taške įvertinant saulės elektrinės trumpo jungimo srovę:

$$x_{SK07} = \frac{400}{\sqrt{3}\cdot 197{,}386} = 1{,}169\ \Omega;$$

$$I^{(3)}_{K07SE} = \frac{U_p}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(x_S + z_{\mathrm{L6}})} = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(1{,}169 + 0{,}004)} = 196{,}879\ A;$$

$$I^{(3)}_{K07} = I^{(3)}_{K07SE} + I^{(3)}_{TP-L300K07} = 196{,}879 + 3442{,}332 = 3639{,}211\ A;$$

Perskaičiuojamos trumpojo jungimo srovės K08 taške įvertinant saulės elektrinės trumpo jungimo srovę:

$$Z_T = \frac{4\cdot 400^2}{100\cdot 100000} = 0{,}064\ \ \Omega$$

$$I^{(3)}_{K08SE} = \frac{U_p}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(x_S + z_{\mathrm{L6}} + z_{\mathrm{T}})} = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(1{,}169 + 0{,}004 + 0{,}064)} \cdot \frac{400}{10500} = 7{,}112\ A$$

$$I^{(3)}_{K08} = I^{(3)}_{K08SE} + I^{(3)}_{TP-L300K08} = 7{,}112 + 2848{,}767 = 2855{,}879\ A;$$

15 lentelė. K06, K07, K08 trumpųjų jungimų srovės.

Trumpojo jungimo srovės taškas	Trumpojo jungimo srovė I_{TJ}, A
K06	3639,421
K07	3639,211
K08	2855,879

Elektros įrenginių parinkimui pagal dinaminį atsparumą randama smūginė trumpojo jungimo srovė. Smūgio srovė apskaičiuojama:

$$i_{sm} = \sqrt{2} \cdot I^{(3)}_K \cdot k_{sm}; \qquad (36)$$

k_{sm} – smūgio koeficientas;

$I^{(3)}_K$ – trumpojo jungimo srovė, A;

Pagal bakalaurinio darbo vadovo nurodymus priimame, kad $\sqrt{2} \cdot k_{sm} = 2{,}5$;

Tada smūgio srovė K08 taške bus:

$$i_{smK08} = 2855{,}879 \cdot 2{,}5 = 7139{,}697\ A;$$

Kitos smūgio srovės pateikiamos 16 lentelės antroje grafoje.

2.1.8. Kabelių tikrinimas pagal trumpojo jungimo srovės ir šiluminio impulso poveikį

Parinktas kabelis tikrinamas pagal trumpojo jungimo srovės poveikį. Trumpojo jungimo metu kabelis su polietileno izoliacija neturėtų įkaisti iki 250°C. Jeigu leistinoji trumpojo jungimo srovė yra didesnė už linijoje tekančią, vadinasi kabelis parinktas teisingai. Leistina trumpojo jungimo srovė apskaičiuojama pagal formulę:

$$I_{sm} = \frac{I_{TlS}}{\sqrt{t_{išj.}}}; \quad (37)$$

I_{TlS} – trumpojo jungimo srovė kuri kabeliu gali tekėti vieną sekundą , A;

$t_{išj.}$– trumpojo jungimo išjungimo trukmė, s;

$$I_{smK07} = \frac{7150}{\sqrt{0{,}4}} = 11305{,}142\ A;$$

Pagal (31) formulę patikrinama kitos linijos. Rezultatai pateikiami 16 lentelėje.

16 lentelė. Kabelių tikrinimo pagal trumpojo jungimo srovę rezultatai.

Linija	Linijos TJ srovė, A	Kabelio TJ srovė, A	Išjungmo trukmė,s	Leistinoji TJ srovė, A	Ar tenkina sąlygą?
L7	7139,697	7150	0,4	11305,142	Taip
L6	9098,855	8250	0,4	13044,395	Taip
L1-L3	98,367	2720	0,4	4300,697	Taip
L4-L5	101,097	2720	0,4	4300,697	Taip

Šiluminis impulsas trumpojo jungimo metu skaičiuojamas:

$$B_T = I_K^2 \cdot t_{išj.}; \quad (38)$$

I_k – trumpojo jungimo srovė, A;

$t_{išj.}$– trumpojo jungimo išjungimo trukmė, s;

$$B_{TK07} = 2855{,}879^2 \cdot 0{,}4 = 3262{,}417 \cdot 10^3\ A^2s;$$

Pagal (38) formulę patikrinama kitos linijos. Rezultatai pateikiami 17 lentelėje.

17 lentelė. Kabelių tikrinimo pagal šiluminį impulsą rezultatai.

Linija	Šiluminis impulsas, $A^2s \cdot 10^3$	Išjungmo trukmė,s	Leistinas šiluminis impulsas, $A^2s \cdot 10^3$	Ar tenkina sąlygą?
L7	3262,417	0,4	16200-25050	Taip
L6	3639,421	0,4	33062-51122	Taip
L1-L3	0,619	0,4	$3385 - 5234$	Taip
L4-L5	0,654	0,4	$3385 - 5234$	Taip

Kadangi visi kabeliai tenkina parinkimo sąlygas, galima teigti, kad kabeliai parinkti teisingai.

2.1.8. Apsauginių aparatų parinkimas

Saulės moduliams apsaugoti nuo trumpojo jungimo srovės, parenkami 20 A cilindriniai saugiklius. Saugikliai statomi kiekvienam blokui. Tekanti bloke srovė bus 17 A.

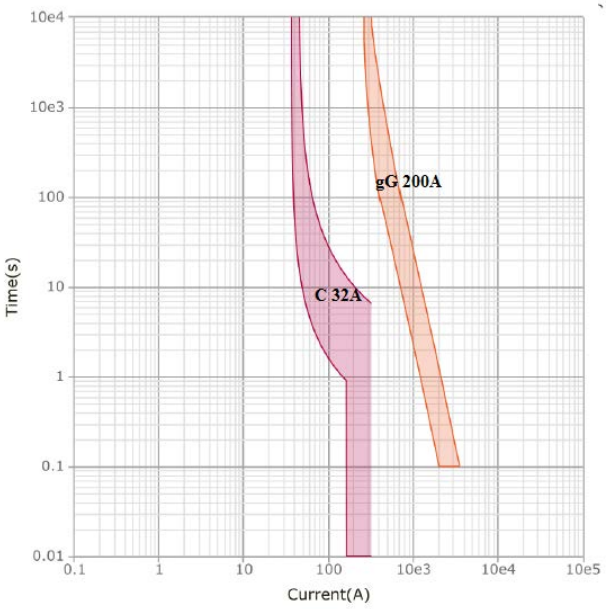
Keitikliams apsaugoti nuo trumpojo jungimo srovės, parenkami trifaziai 32 A automatiniai jungikliai su C atjungimo charakteristika ir 6 kA atjungimo geba.

PS skydo atjungimui parenkamas 200A kirtiklis.

Transformatoriaus 0,4 kV šynų apsaugai parenkami gG tipo 200 A saugikliai.

Transformatoriaus 10 kV šynų apsaugai parenkami 10 A 12 kV saugikliai.

Saulės elektrinės vienlinijinė schema pateikta antrame priede.



6 pav. Apsauginių aparatų selektyvumo kreivės

2.1.9. Nuostoviosios tinklo įtampos kitimų skaičiavimas

Skaičiuojame ar saulės elektrinės prijungimo prie tinklo taške neviršijama leistinoji įtampa (leistinieji įtampos pokyčiai apriboti ±10% intervalu):

$$U_{SE} = U_{šynų} + \Delta U_{linijos}; \quad (39)$$

U_{SE} – įtampa prijungimo taške, V;

$\Delta U_{linijos}$ – įtampos nuostoliai linijoje, V;

$$\Delta U_{linijos} = \frac{PR+QX}{U_{nom}}; \quad (40)$$

Kadangi keitikliai kompensuoja reaktyviąją galią, tai Q=0. Linijų varžos paimamos iš ankščiau atliktų skaičiavimų. Įtampos nuostoliai linijoje yra:

$$\Delta U_{linijos} = \frac{98441{,}177 \cdot 1{,}51}{10500} = 14{,}156\ V;$$

$$U_{SE} = 10500 + 14{,}156 = 10514{,}156\ V;$$

Galima daryti išvadą, kad įtampa elektrinės prijungimo taške tenkina viešo elektros tinklo įtampai keliamus kokybės reikalavimus ir yra 11 – 9 kV intervale (neviršija ±10%) .

2.1.10. Įžeminimo kontūro skaičiavimas

Pagal gruntą nustatoma savitoji grunto varža:

$$\rho_s = k \cdot \rho; \quad (41)$$

k – koeficientas įvertinantis grunto drėgnumą, parenkamas iš 18 lentelės;

ρ – molio specifinė varža, priimama ρ = 100 Ω·m;

$$\rho_{sk.v} = 1{,}5 \cdot 100 = 150\ \Omega \cdot m;$$

$$\rho_{sk.h} = 2{,}25 \cdot 100 = 225\ \Omega \cdot m;$$

18 lentelė. Grunto drėgnumo pataisos koeficiento vertės.

Vertikaliesiems elektrodams (2–3 m ilgio) įgilintiems 0,5–0,8 m	1,4 – 1,6
Horizontaliesiems elektrodams	
įgilintiems 0,8 m	2,0 – 2,5

Vertikaliam įžeminimui parenkami variuoti 1,5 m ilgio įžemikliai. Įžemikliai sujungti po du, bendras, įžemiklio ilgis 3 m.

Vertikalaus įžemiklio varža apskaičiuojam:

$$R_{v0} = \frac{\rho_{sk.v}}{2\pi l}\left(\ln\frac{4l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t+l}{4t-l}\right) \quad (42)$$

$\rho_{sk.v}$ – savitoji grunto varža, Ω·m ;

l – įžemiklio ilgis, m;

t – atstumas nuo žemės paviršiaus iki vertikalaus įžemiklio vidurio, m;

d – įžemiklio diametras, m;

$$R_{v0} = \frac{150}{2\pi 3}\left(\ln\frac{4 \cdot 3}{0{,}0142} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3}\right) = 56{,}796\Omega$$

Apskaičiuojamas reikalingas vertikalių įžemiklių skaičius:

$$n_{el.} = \frac{R_{v0}}{\eta_v \cdot R_{\text{į}}} \quad (43)$$

η_v – išnaudojimo koeficientas, parenkamas pagal 20 lentelę ;

$R_{\text{į}}$ – reikiama įžeminimo varža, Ω;

$$n_{el.} = \frac{56{,}796}{0{,}75 \cdot 10} = 7{,}572 \approx 8 vnt.$$

19 lentelė. Vertikaliųjų elektrodų išnaudojimo koeficientas.

Santykis atstumo tarp elektrodų (a) ir jų ilgio (l), a/l	Vertikaliųjų elektrodų skaičius	Išnaudojimo koeficientas, η_v
3	6	0,78 – 0,82
	10	0,74 – 0,78

Apskaičiuojama visų įžemiklių atstojamoji varža:

$$R_{ž} = \frac{R_{v0}}{\eta_v \cdot n_{el.}} \quad (44)$$

$$R_{ž} = \frac{56{,}796}{0{,}75 \cdot 8} = 9{,}466\ \Omega;$$

Įžemiklių sujungimui parenkama 25x4 mm plieninė juosta, tiesiama 0,5 m gylyje. Horizontalios juostos įžemėjimo varža apskaičiuojama:

$$R_j = \frac{\rho_{sk.h}}{2\pi \cdot l} \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t}; \quad (45)$$

R_j – horizontalios juostos varža, Ω ;

$\rho_{sk.h}$ – savitoji grunto varža, $\Omega \cdot m$;

l – juostos ilgis, m;

b – juostos plotis, m;

t – atstumas nuo žemės paviršiaus iki juostos vidurio, m;

$$R_j = \frac{225}{2\pi \cdot 420} \ln \frac{2 \cdot 420^2}{0{,}025 \cdot 0{,}52} = 1{,}460\ \Omega;$$

Jungiančios juostos varža, įvertinus ekranavimo koeficientą, pateiktą 20 lentelėje:

$$n_{el.} = \frac{1{,}46}{0{,}6} = 2{,}433\ \Omega; \quad (46)$$

Viso įžeminimo kontūro atstojamoji varža:

$$R_k = \frac{R_{ž} \cdot R_j}{R_{ž} + R_j}; \quad (47)$$

$$R_k = \frac{9{,}466 \cdot 2{,}433}{9{,}466 + 2{,}433} = 1{,}935\ \Omega;$$

20 lentelė. Horizontaliųjų elektrodų išnaudojimo koeficientai.

Santykis atstumo tarp elektrodų (a) ir jų ilgio (l), a/l	Vertikaliųjų elektrodų išdėstytų kontūre skaičius, n
	8
3	0,60

Įžeminimo kontūro planas pateiktas penktame priede.

2.1.11. Projekto ekonominis įvertinimas

Ekonominė analizė reikalinga energetikos objektų alternatyviems projektams palyginti, energijos gamybos, perdavimo, skirstymo ir vartojimo sąnaudoms nustatyti, energetikos objekto pinigų balansui ir vidinei pelno normai, bei atsipirkimo laikui nustatyti ir kitiems ekonominiams įvertinimams.

Naudojantis programa PVsyst apskaičiuota, kad suprojektuota saulės elektrinė per metus generuos 99475,220 kWh. Saulės elektrinių elektros supirkimo tarifas yra 0,142 Eur/kWh. Priimama, kad visa pagaminta elektros energija bus parduodama viena kaina. Tada saulės elektrinė per metus sugeneruos elektros energijos už 14125,48 eurus.

Norint įvertinti saulės elektrinės kainą priimama, kad išlaidos vienam instaliuotam kilovatui yra 1300 eurų. Tada saulės elektrinės kaina bus 130000 eurų.

Taip pat reikia įvertinti elektrinės eksplotavimo išlaidas. Priimama, kad eksplotavimo išlaidos metams sieks 1500 eurų.

Atsižvialgiant į tai, kad elektrinės eksplotavimo laikotarpis 20 m, apskaičiuojamas atsipirkimo laikotarpis:

$$T = \frac{C_{SE}+n\cdot C_a}{R}; \quad (48)$$

T – Atsipirkimo laikas, m ;

C_{SE} – saulės elektrinės kaina, Eur;

C_a – saulės elektrinės eksplotavimo išlaidos, Eur;

n – elektrinės tarnavimo laikas, m;

R – gautos pajamos per metus, Eur;

$$T = \frac{130000+20\cdot 1500}{14125,48} = 11,32\ m;$$

IŠVADOS

1. Pagal siekiamą instaliuoti galią apskaičiuota, kad saulės elektrinei reikės 364 monokristalinių 275 W fotomodulių, kurie bus prijungti prie 5 keitiklių, kurių galia 20,75 kW.

2. Fotomoduliams sujungti parinkta 1x4 mm^2 kabelis varinėmis gyslomis, maksimalūs įtampos nuostoliai $\Delta U_{max} = 0{,}757\%$. Nuo keitiklių iki paskirstymo skydo parinkta 5x16 mm^2 kabeliai su varinėmis gyslomis, $\Delta U_{max} = 0{,}836\%$. Sujungti paskirstymo skydui ir transformatoriui parinkta 5x50 mm^2 storio kabelis su varinėmis gyslomis $\Delta U = 0{,}246\%$. Transformatoriaus ir tinklo sujungimui parinkta 3x35 mm^2 storio kabelsis, $\Delta U = 0{,}0\%$.

3. Apskaičiuotos trumpojo jungimo srovės, įvertinus trumpojo jungimo srovę generuojamą elektrinės (197,386 A) ir trumpojo jungimo srovę iš TP-371, kuri buvo žinoma ir lygi 9,8 kA. Transformatoriaus 10 kV šynų trumpojo jungimo srovė – 2855,879 A, 0,4 kV šynų trumpojo jungimo srovė – 3039,211 A, paskirstymo skyde tekanti trumpo jungimo srovė – 3639,421 A.

4. Modulių apsaugai parinkti 20 A saugikliai, keitiklių apsaugai – 32 A automatiniai jungikliai, 0,4 kV šynų apsaugai – 200 A saugikliai, 10 kV šynų apsaugai – 10 A saugikliai. Fotomodulių apsaugai nuo viršįtampių parinkti 2 klasės viršįtampių ribotuvus.

5. Pagal instaliuotą saulės elektrinės galią parinktas 100 kVA transformatorius.

6. Apskaičiuota suminė įžeminimo kontūro varža yra 1,935 Ω ir tenkina elektros įrenginių įrengimo bendrosiose taisyklėsę pateiktą salygą, kad įžeminimo varža, bet kuriuo metų laiku negali viršyti 10 Ω.

7. Atsižvelgiant į tai, kad saulės elektros energijos kaina yra 0,142 eur/kWh ir elektrinės pastatymo, eksplotavimo išlaidos yra 160000 eurų, apskaičiuota, kad projektuojamos saulės elektrinės atsipirkimo laikotarpis yra 11,32 metų.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Vadovėliai, ataskaitos:

8. Internetinė svetainė: *Wikipedia.* Rasta: http://lt.wikipedia.org/wiki/Saul%C4%97s_energija; žiūrėta: 2015 04 06
10. E.V.Neverdausko ataskaita *Vėjo elektrinių prijungimo prie 10 kV tinklo parametrų tyrimas,* 2008
11. Mokomoji knyga: *Įmonių elektros įrenginiai ir tinklai,* Klaipėda 2003 UDK621.311(075.8), 80 psl

Knygos be autoriaus

8. Atsinaujinančios energetikos projekto paskaitų teorinė medžiaga *Apsaugos nuo žaibo sistemų įžeminimas.* 21 puslapis
9. *Elektros įrenginių įrengimo bendrosios taisyklės. IKI 1000 V ĮTAMPOS ELEKTROS ĮRENGINIŲ ĮŽEMINIMAS TIESIOGIAI ĮŽEMINTOS NEUTRALĖS TINKLU* 218 punktas

Elektroniniai leidiniai:

1. Internetinė svetainė: *Wikipedia.* Rasta: http://lt.wikipedia.org/wiki/Saul%C4%97s_energija; žiūrėta: 2015 04 06
2. Internetinė svetainė: *Nacional center of photovoltics.* Rasta: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg; žiūrėta: 2014 04 06
3. Internetinė svetainė: *Clean technica.* Rasta: http://cleantechnica.com/2014/09/04/solar-panel-cost-trends-10-charts/ ; žiūrėta: 2014 04 06
4. Internetinė svetainė: *Solar electric.* Rasta: http://www.solar-electric.com/inverter-basics-selection.html ; žiūrėta: 2014 04 07.
5. Internetinė svetainė: *Electrical classroom.* Rasta: http://www.electricalclassroom.com/2015/04/what-is-meant-by-b-c-d-k-and-z-curves.html ; žiūrėta: 2014 04 07.
7. Internetinė svetainė: *ETI baltus.* Rasta: http://www.etibaltus.lt/files/userfiles/PDF/LT/LT/publication/etitec.pdf; žiūrėta: 2014 04 07.

PRIEDŲ SĄRAŠAS

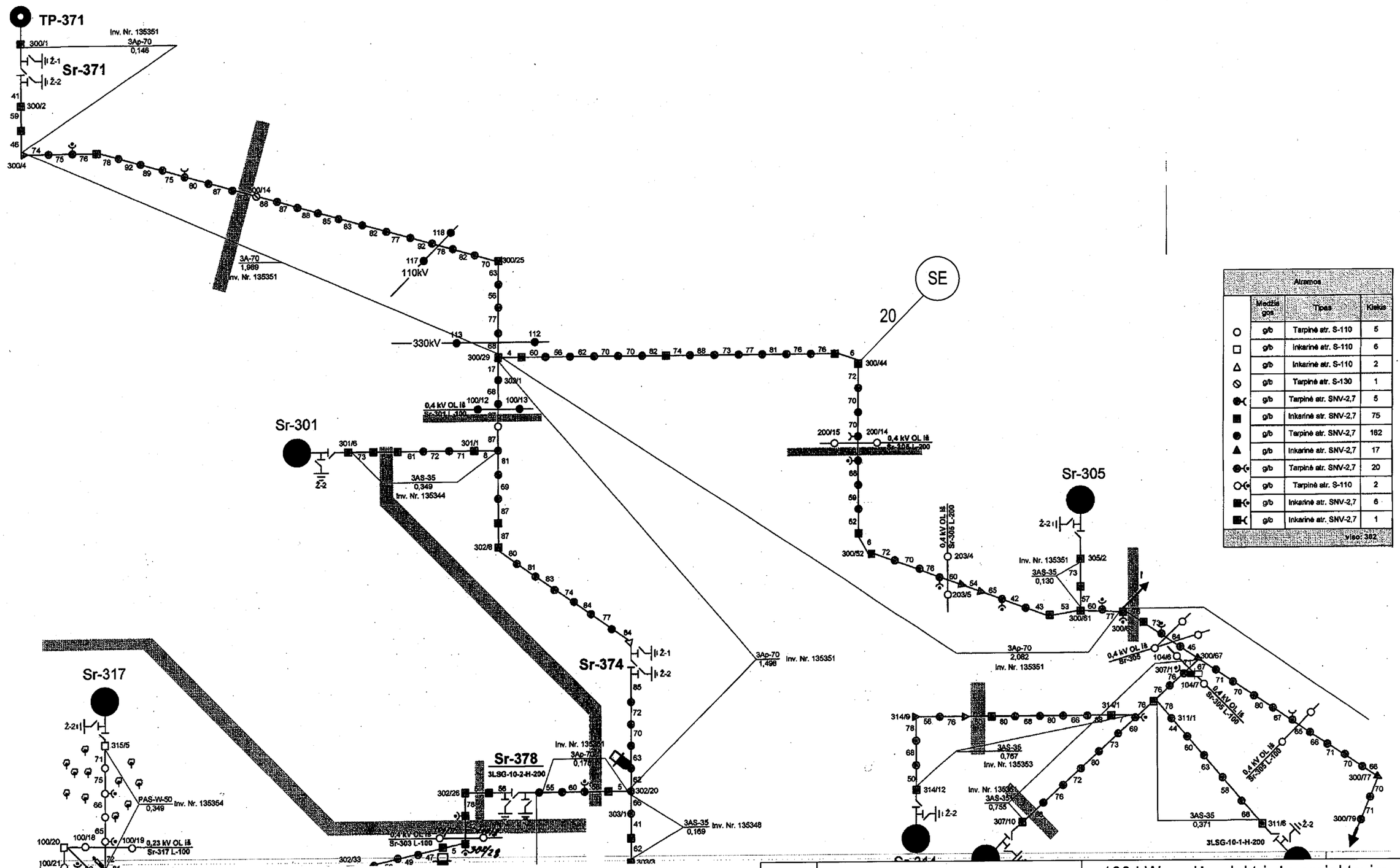
1 priedas. TP 10 kV elektros linijos L-300 schema.

2 priedas. Saulės elektrinės vienlinijinė schema.

3 priedas. Fotomodulių jungimo planas.

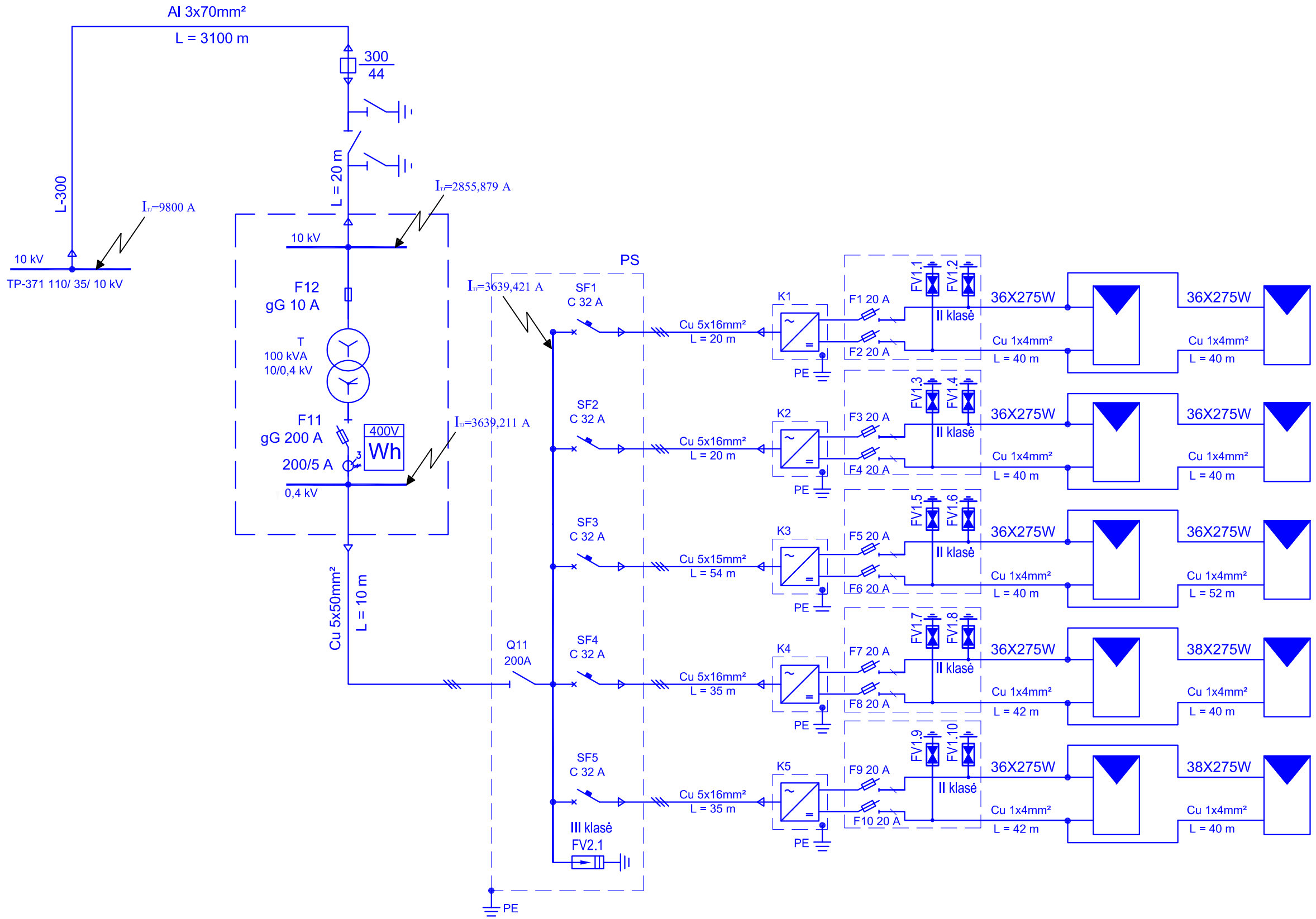
4 priedas. Keitiklių ir transformatoriaus sujungimo planas.

5 priedas. Įžeminimo kontūras.

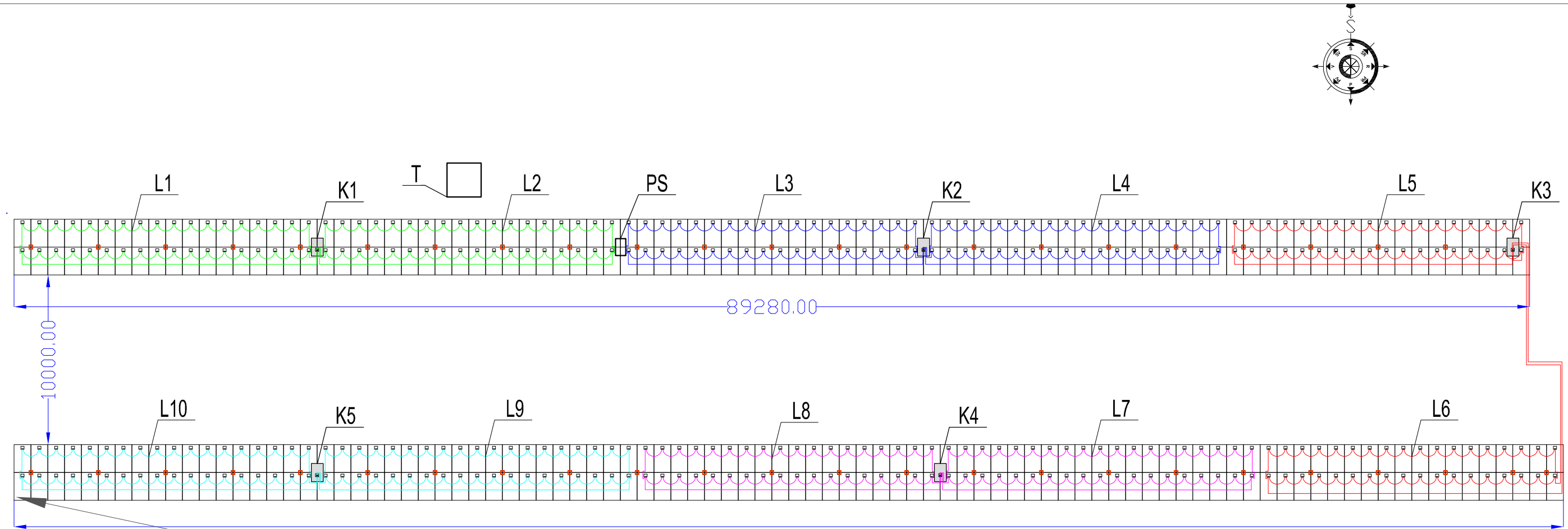


Atramos			
	Medžiaga	Tipas	Kiekis
○	g/b	Tarpinė atr. S-110	5
□	g/b	Inkarinė atr. S-110	6
△	g/b	Inkarinė atr. S-110	2
⊘	g/b	Tarpinė atr. S-130	1
⊛	g/b	Tarpinė atr. SNV-2,7	5
■	g/b	Inkarinė atr. SNV-2,7	75
●	g/b	Tarpinė atr. SNV-2,7	162
▲	g/b	Inkarinė atr. SNV-2,7	17
⊛	g/b	Tarpinė atr. SNV-2,7	20
○	g/b	Tarpinė atr. S-110	2
■	g/b	Inkarinė atr. SNV-2,7	6
■	g/b	Inkarinė atr. SNV-2,7	1
Viso: 382			

Grupė	KTU Elektros ir elektronikos fakultetas				100 kW saulės elektrinės projektavimas ir prijungimas prie skirstomojo tinklo	
EAE-1/2	Studentas	T. Ruzveltas		2015-05	1 PRIEDAS. TP 10 kV elektros linijos L-300 schema	Laida: O
Stadija: BBD	Elektros energetikos sistemų katedra Studentų g. 48, Kaunas				2015-BBD-EESK	Lapas: 1 / Lapų: 1



Grupė	KTU Elektros ir elektronikos fakultetas				100 kW saulės elektrinės projektavimas ir prijungimas prie skirtstomojo tinklo skaičiavimas	
EAE-1/2	Studentas	T. Ruzveltas		2015-05	2 PRIEDAS. Saulės elektrinės vienlinijinė schema	Laida
						O
Stadija	Elektros energetikos sistemų katedra Studentų g. 48, Kaunas				2015-BBD-EESK	Lapas / Lapų
BBD						1 / 1



M 1:50

1x4 mm² varinis kabelis jungiantis fotomodulius ir K1 keitiklį

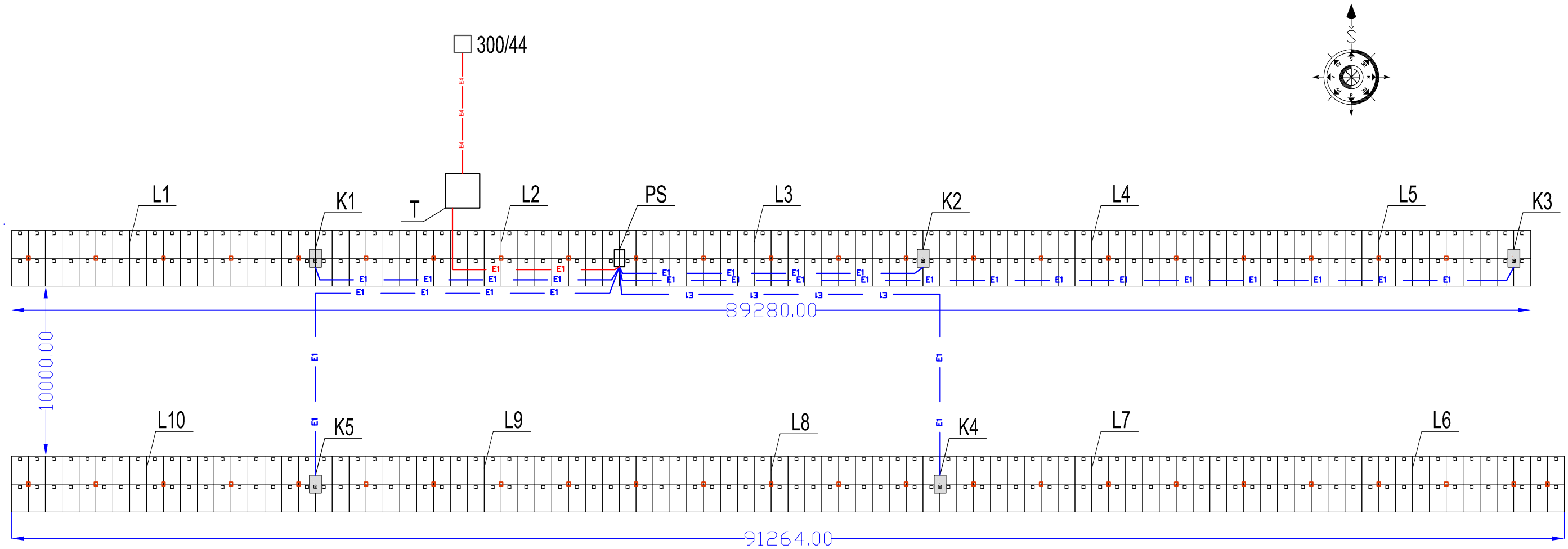
1x4 mm² varinis kabelis jungiantis fotomodulius ir K2 keitiklį

1x4 mm² varinis kabelis jungiantis fotomodulius ir K3 keitiklį

1x4 mm² varinis kabelis jungiantis fotomodulius ir K4 keitiklį

1x4 mm² varinis kabelis jungiantis fotomodulius ir K5 keitiklį

Grupė	KTU Elektros ir elektronikos fakultetas				100 kW saulės elektrinės projektavimas ir prijungimas prie skirstomojo tinklo	
EAE-1/2	Studentas	T. Ruzveltas		2015-05	3 PRIEDAS. Fotomodulių jungimas M 1:250	Laida O
Stadija BBD	Elektros energetikos sistemų katedra Studentų g. 48, Kaunas				2015-BBD-EESK	Lapas 1 / Lapų 1

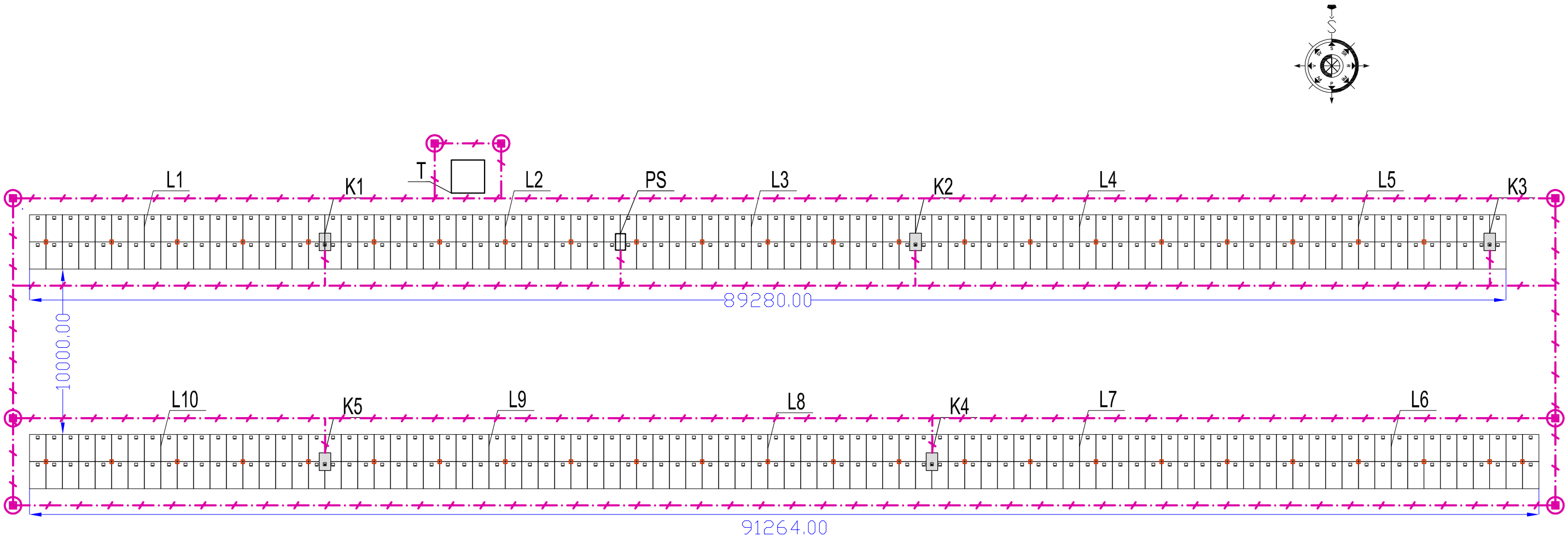


E1 E1 5x16 mm² varinis kabelis jungiantis keitiklius ir PS skydą

E1 E1 5x50 mm² varinis kabelis jungiantis PS skydą ir transformatorių

E4 E4 3x35 mm² varinis kabelis jungiantis transformatorių ir atramą 300/44

Grupė	KTU Elektros ir elektronikos fakultetas				100 kW saulės elektrinės projektavimas ir prijungimas prie skirstomojo tinklo	
EAE-1/2	Studentas	T. Ruzveltas		2015-05	4 PRIEDAS. Keitiklių, transformatoriaus ir atramos 300/ 44 sujungimo planas M 1:250	Laida O
Stadija BBD	Elektros energetikos sistemų katedra Studentų g. 48, Kaunas				2015-BBD-EESK	Lapas 1 / Lapų 1



25x4 plieninė įžeminimo juosta

Vertikalus įžemiklis 2x1.5 m

Grupė	KTU Elektros ir elektronikos fakultetas				100 kW saulės elektrinės projektavimas ir prijungimas prie skirstomojo tinklo	
EAE-1/2	Studentas	T. Ruzveltas		2015-05	5 PRIEDAS. Įžeminimo kontūras M 1:250	Laida O
Stadija BBD	Elektros energetikos sistemų katedra Studentų g. 48, Kaunas				2015-BBD-EESK	Lapas 1 / Lapų 1