

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Edvardas Bielskis

TECHNOLOGIJOS FAKULTETO SAULĖS ELEKTRINĖS
ENERGETINIO EFEKTYVUMO DIDINIMAS TAIKANT
MAKSIMALIOS GALIOS SEKIMO METODĄ
Magistro darbas

Vadovas

doc. dr. G. Valiulis

ŠIAULIAI, 2013

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

doc. dr. G. Valiulis

2013 06

TECHNOLOGIJOS FAKULTETO SAULĖS ELEKTRINĖS
ENERGETINIO EFEKTYVUMO DIDINIMAS TAIKANT
MAKSIMALIOS GALIOS SEKIMO METODĄ
Magistro darbas

Konsultantas

doc. dr. L. Buivis

2013 06

Vadovas

doc. dr. G. Valiulis

2013 06

Recenzentas

lekt. Dr. A. Grigaitis

2013 06

Atliko

EM-11 gr. stud.
E. Bielskis

2013 06

ŠIAULIAI, 2013

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
ELEKTROS INŽINERIJOS KATEDRA

Edvardas Bielskis. TECHNOLOGIJOS FAKULTETO SAULĖS ELEKTRINĖS
ENERGETINIO EFEKTYVUMO DIDINIMAS TAIKANT MAKSIMALIOS GALIOS SEKIMO
METODĄ. Magistranto baigiamasis darbas / vadovas doc. dr. G. Valiulis.

SANTRAUKA

Elektrinėse, kur energija gaunama panaudojant alternatyviuosius energijos šaltinius, efektyvumo didinimas yra aktualus, nes nuo šio parametro priklauso tokių objektų produktyvumas, atsiperkamumas.

Baigiamajame darbe tyrinėjama atnaujinta Šiaulių Universiteto Technologijos fakulteto saulės elektrinė. Įsigyti nauji šiuolaikinės antros kartos (290 W ir 5x70 W) polikristaliniai fotomoduliai. Suprojektuojama ir sukonstruojama saulės elektrinės monitoringo įranga, kuri atlieka: saulės intensyvumo ir fotomodulių temperatūros matavimus; elektrinės įrangos parametrų matavimus.

Darbe nagrinėjamos saulės elektrinės efektyvumo didinimo galimybės, ir jų pritaikymas konkrečiai elektrinei.

Įgyvendinta viena iš pasirinktų efektyvumą didinančių alternatyvų – maksimalios galios sekimo metodas, suprojektuojant ir sukonstruojant galios maksimizatorių. Galios maksimizatoriai suprojektuoti dviejų tipų: aukštinantysis - senosios elektrinės (8x10 W) fotomoduliams ir žeminantysis - naujo tipo (290 W) fotomoduliui. Prietaisų gamybai panaudoti galios elektronikos komponentai, mikrovaldikliai, analoginė elektronika, panaudojant tipinius „BOOST“ (aukštinantysis) ir „BUCK“ (žeminantysis) nuolatinės įtampos keitiklius. Nustatyta, kad šių prietaisų efektyvumo koeficientai siekia net 94%. Atlikus monitoringą pastebėta, kad galios maksimizatoriai sklandžiai prisitaiko prie apkrovos, saulės intensyvumo, fotomodulio temperatūros pasikeitimų.

Atliktas galios maksimizatorių efektyvumo tyrimas saulės elektrinės efektyvumui didinti. Tyrimo tikslas – iširti saulės elektrinės efektyvumo didinimo efektą, panaudojant galios maksimizatorius. Atliktas „OFF“ – „ON“ bandymas, kurio metu buvo kas 80 sekundžių išjungiamas arba įjungiamas galios maksimizavimo algoritmas. Senųjų fotomodulių bloko galios skirtumas naudojant ir nenaudojant galios maksimizatoriaus yra 36 W (124 % padidėjimas). Naujo (290 W)

polikristalinio fotomodulio galių skirtumas yra 135 W arba (112,5 % padidėjimas). Gautas ženklus galios padidėjimas veikiant sistemai suderintuoju režimu.

Ištirtas 5x70 W fotomodulių darbas dirbant kartu su tinklo keitikliu. Pastebėta, kad tinklo keitiklis turintis suderintojo režimo funkciją juo nedirba. Tokio rezultato priežastis – ilgi laidai nuo fotomodulių ant stogo iki patalpos, kurioje yra elektrinė įranga. Perjungus fotomodulius dirbti nuosekliai lygiagrečiai į 4x70 W sistemą, sumažinami galios nuostoliai kabeliuose. Sukonstruojamas analogiškas 290 W blokui galios maksimizatorius. Po atliktų pakeitimų praplečiamas tinklo keitiklio maksimalios galios reguliavimo diapazonas. Suderintasis režimas gaunamas visame darbinės įtampos diapazone, pagaminama daugiau elektros energijos.

Atliktas galios nuostolių tyrimas, kuriame nustatyta, kad didžiausi nuostoliai elektrinėje yra kabeliuose nuo fotomodulių iki elektrinės įrangos, taip pat tinklo keitiklyje (inverteryje).

Tolimesni darbai yra susiję su kitų efektyvumą didinančių alternatyvų vystymu, didinant saulės elektrinės dalies efektyvumą.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI

Saulės elektrinė, galios maksimizatorius, MPPT valdiklis, galios elektronika, fotomoduliai, suderintasis režimas, tinklo inverteris.

ŠIAULIAI UNIVERSITY
FACULTY OF TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

Edvardas Bielskis. IMPROVEMENT OF PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM'S EFFICIENCY IN FACULTY OF TECHNOLOGY BY APPLYING THE MAXIMUM POWER POINT TRACKING METHOD. Master final work / research advisor Assoc. Prof. Dr. G. Valiulis.

SUMMARY

Efficiency improvement in the power plants, where energy is obtained using alternative energy sources, is relevant, since this is the parameter on which such objects' productivity payback depends.

This thesis explores the renewed solar power plant in Faculty of Technology at Šiauliai University. New modern second generation (5x70 W and 290 W) polycrystalline photo modules were purchased. Solar power monitoring equipment is designed and constructed which performs: solar irradiation and panels' temperature measurements as well as other measurements related to electrical equipment.

This work analyses the solar power station efficiency improvement possibilities and their application in actual solar power station.

One of the selected performance-enhancing alternatives being maximum power point tracking method which was designed and implemented using power maximizer device. Power maximizers are of two types: boost-type used for old power station (8x10 W) photo modules and buck-type used for new (290 W) polycrystalline photo modules. Designing these devices analogue, digital and power electronics were used. It was found that the efficiency of these devices is as high as 94 per cent. After investigation it was observed that the power maximizers smoothly adapt to the load, solar irradiation and temperature changes.

The study on increasing of solar power plant efficiency using power maximizers was performed. An OFF - ON test was performed during which power maximization mode has been turned off or on for every 80 seconds. The resulting power difference between maximization and non-maximization modes of the old photo modules unit was 36 W, (i.e. about 124 % more power). For the new (290 W) polycrystalline photo module this power difference was 135 W (or 112.5 % more power).

5x70 W photo module operation together with grid-tie inverter was studied. It is noted that this inverter which has power optimization function, does not work properly in the reality. Main reason of this is the long wires from photo modules on the roof to the room with the electrical equipment. The connection of the photo modules for operation in parallel to build new 4x70 W system, gives reduction of power losses in cables. Similar power maximizer for use with 290 W solar panel is designed. After these changes, maximum power adjustment range was expanded. Impedance matching mode is obtained throughout the operating voltage range that produces more electricity.

The power loss study reveals that the greatest power loss was in the cables between the photo modules and electrical equipment and in the grid-tie converter.

Further work is related to development of other performance-enhancing alternatives, increasing the efficiency of solar power station.

REIKŠMINIAI ŽODŽIAI

Solar power plant, power maximizer, MPPT controller, power electronics, solar panels, impedance matching regime, grid inverter.

TURINYS

LENTELĖS	9
PAVEIKSLAI.....	10
1. ĮVADAS	12
2. ANALITINĖ DALIS	13
2.1. Atsinaujinančių energijos šaltinių integravimo ŠU Technologijos fakultete galimybių analizė.....	13
2.2. Fotolektrinės energetinio efektyvumo didinimo priemonių apžvalga	15
2.2.1. Nuolatinės srovės kabelių skerspjūvio didinimas.....	15
2.2.2. Nuolatinės srovės pusėje perduoti galią paaukštinta įtampa	15
2.2.3. Šaltinio ir apkrovos darbas suderintuoju režimu	15
2.2.4. Fotomodulius pozicionuojant į saulę.....	18
3. PRAKTINĖ DALIS.....	22
3.1. Senosios fotolektrinės įrangos apžvalga	22
3.2. Naujos saulės elektrinės įrangos aprašymas	27
3.2.1. Fotomodulis GT-70PCX	27
3.2.2. Fotomodulis LNSF-290P.....	27
3.2.3. „Grid tie“ tipo įtampos keitiklis	28
3.3. Naujos demonstracinės fotolektrinės projektavimas	29
3.3.1. Fotomodulių įrengimas ant stogo	30
3.3.2. Saulės elektrinės elektrinių grandinių projektavimas.....	34
3.3.3. Fotolektrinės galios maksimizavimo įtaiso projektavimas senajai elektrinei.....	36
3.3.3.1. Grįžtamąjį ryšį formuojanti dalis.....	37
3.3.3.2. Valdymo dėsnį formuojanti dalis	38
3.3.3.3. Sistemos poveikį formuojanti dalis	42
3.3.3.4. Suprojektuoto įtampą aukštinančio galios maksimizatoriaus principinė elektrinė schema, bendras vaizdas.....	43
3.3.3.5. Aukštinančio įtampą galios maksimizatoriaus efektyvumo nustatymas	44
3.3.4. Fotolektrinės galios maksimizavimo įtaiso projektavimas naujai elektrinei.....	46
3.3.4.1. Sistemos poveikį formuojanti dalis	46
3.3.4.2. Suprojektuoto įtampą žeminančio galios maksimizatoriaus principinė elektrinė schema, bendras vaizdas.....	49
3.3.4.3. Žeminančio įtampą galios maksimizatoriaus efektyvumo nustatymas	51

3.3.5. Įkrovimo ir iškrovimo įtaisų projektavimas	52
3.3.5.1. Akumulatoriaus įkrovimo valdiklio projektavimas.....	53
3.3.5.2. Akumulatoriaus iškrovimo valdiklio projektavimas	55
3.3.6. Suprojektuotos, realizuotos elektrinės bendras vaizdas	56
4. TIRIAMOJI DALIS	58
4.1. Galios maksimizavimo įtaisų įtaka fotoelektrinės energetiniam efektyvumui.....	58
4.1.1. 8x10 W bloko aukštinančiojo įtampą „Boost“ galios maksimizatoriaus tyrimas	58
4.1.2. 290 W bloko žeminančiojo įtampą „Buck“ galios maksimizatoriaus tyrimas	61
4.1.3. 5x70 W bloko efektyvumo gerinimo tyrimas.....	62
4.2. Saulės elektrinės galios nuostolių tyrimas.....	65
5. IŠVADOS	70
6. LITERATŪRA	72

LENTELĖS

3.1. Tiriamojo fotomodulio parametrai	23
3.2. Gauti 8x10 W fotomodulių bloko bandymo rezultatai.....	24
3.3. Fotomodulio GT-70PCX charakteristikos.....	27
3.4. Fotomodulio LNSF-290P charakteristikos.....	28
3.5. “Grid tie” tipo elektros energijos keitiklio duomenys	29
3.6. Fotomodulių GT-70PCX bloko remo detalių poreikis	31
3.7. Fotomodulio LNSF-290P remo detalių poreikis	32
3.8. Žeminančio įtampą maksimizatoriaus naudingumo koeficiento nustatyto tyrimo duomenys ..	51
4.1. Išmatuotų kabelių nuo fotomodulių iki elektrinės įrangos elektrinės varžos	63
4.2. Atliktų matavimų rezultatai elektrinės efektyvumui nustatyti	66
4.3. Saulės elektrinės galios nuostolių tyrimo rezultatai	67

PAVEIKSLAI

2.1 pav. Palydovo nuotrauka, kurioje vaizduojamas ŠUTF padalinys.....	13
2.2 pav. Vidutinė metinė Saulės spindėjimo trukmė valandomis Lietuvoje, esant giedram dangui	14
2.3 pav. Tipinė silicio fotomodulio voltamperinė charakteristika, maksimalios galios taškas	16
2.4 pav. Tipinės BUCK, BOOST ir BUCK-BOOST elektrinės schemos.....	17
2.5 pav. Žeminančio, aukštinančio ir aukštinančio-žeminančio keitiklių transformacijos koeficientų grafinės išraiškos	18
2.6 pav. Gaunamos momentinės galios palyginimas pozicionuojant fotomodus į saulę dvejomis ašimis.....	19
2.7 pav. Saulės sekimo dangaus skliautu sistemos.....	20
2.8 pav. Tipinė diferencinės saulės sekimo sistemos elektrinė schema	21
2.9 pav. Diferencinės saulės sekimo sistemos jutiklių išdėstymas.....	21
3.1 pav. Senosios fotovoltinės elektrinės bendras vaizdas	23
3.2 pav. Senosios fotoelektrinės struktūrinė schema.....	23
3.3 pav. Fotovoltinės elektrinės principinė elektrinė schema.....	24
3.4 pav. Esamos fotovoltinės elektrinės charakteristikos	26
3.5 pav. LNSF-290P fotomodulio voltamperinių charakteristikų šeimos priklausomybės.....	28
3.6 pav. „Grid tie“ tipo elektros energijos keitiklis	29
3.7 pav. Fotomodulių GT-70PCX bloko rėmo surinkimo brėžinys	31
3.8 pav. Fotomodulio LNSF-290P rėmo surinkimo brėžinys	32
3.9 pav. Fotoelektrinės fotomodulių blokų išdėstymo planas	33
3.10 pav. Fotoelektrinės bendras vaizdas	33
3.11 pav. Naujos saulės elektrinės struktūrinė schema	35
3.12 pav. Matavimo prietaisų grįžtamiesiems ryšiams sudaryti principinės elektrinės schemos	38
3.13 pav. Mikrovaldiklio ATMEGA8 TQFP32 korpusas	38
3.14 pav. Galios maksimizatoriaus pagrindinės programos algoritmas	40
3.15 pav. Suprojektuoto įtampa aukštinančio keitiklio principinė elektrinė schema	42
3.16 pav. Aukštinančio įtampą galios maksimizatoriaus principinė elektrinė schema	43
3.17 pav. Aukštinančio galios maksimizatoriaus prietaiso bendras vaizdas	44
3.18 pav. Aukštinančio įtampą galios maksimizatoriaus bandymo schema.....	44
3.19 pav. Galios maksimizavimo įtaiso efektyvumo priklausomybė nuo apkrovos	45
3.20 pav. Generuojamos galios skirtumo veikiant ir neveikiant galios maksimizatoriui priklausomybė nuo apkrovos.....	45

3.21 pav. Suprojektuoto įtampa žeminančio keitiklio principinė elektrinė schema.....	47
3.22 pav. Maksimalios galios sekimo principas panaudojant „Buck“ keitiklį ir P&O maksimalios galios sekimo algoritmą.....	48
3.23 pav. Žeminančio įtampą galios optimizatoriaus principinė elektrinė schema.....	50
3.24 pav. Žeminančio įtampą galios optimizatoriaus bendras vaizdas.....	51
3.25 pav. Žeminančio įtampą galios maksimizatoriaus efektyvumo priklausomybė nuo įėjimo galios.....	52
3.26 pav. Puslaidininkinės relės principinė elektrinė schema	53
3.27 pav. Įkrovimo reguliatoriaus bendras vaizdas	55
3.28 pav. Iškrovimo valdiklio bendras vaizdas	56
3.29 pav. Bendras saulės elektrinės elektros energijos, matavimų ir valdymo mazgo vaizdas.....	57
4.1 pav. 8x10 W fotomodulių bloko galios maksimizatoriaus bandymas „OFF-ON“ režimu, kai apkrova akumulatorius	59
4.2 pav. 8x10 W fotomodulių bloko galios maksimizatoriaus bandymas „OFF-ON“ režimu, kai apkrova – tinklo keitiklis	59
4.3 pav. 8x10 W fotomodulių bloko išėjimo įtampos momentinės vertės	60
4.4 pav. 290 W bloko galios maksimizatoriaus bandymas „OFF-ON“ režimu, kai apkrova – tinklo keitiklis	61
4.5. pav. 290 W ir 5x70 W blokų generuojamų momentinių galių palyginimas, kai blokai prijungti dirbti tiesiogiai prie tinklo keitiklio.....	62
4.6 pav. 290 W ir 5x70 W blokų sugeneruotos elektros energijos per parą palyginimas, kai blokai prijungti dirbti tiesiogiai prie tinklo keitiklio	63
4.7 pav. Naujos saulės elektrinės struktūrinė schema po 5x70 W fotomodulių bloko perdarymo ..	64
4.8 pav. 290 W ir 4x70 W momentinių galių palyginimas	65
4.9 pav. 290 W ir 4x70 W pagamintos energijos palyginimas.....	65
4.10 pav. Gautų galios nuostolių tyrimo rezultatų duomenys	68
4.11 pav. Saulės elektrinės galios nuostoliai išreikšti procentais	68

1. ĮVADAS

Saulės energetika šiuo metu yra viena iš labiausiai plėtojamų atsinaujinančios energetikos alternatyvų. Skiriama daug lėšų moksliniams tyrimams, kurių tikslas yra pasiekti kuo didesnį efektyvumą saulės energiją keičiant galutiniam vartotojui tiekiamą elektros energiją.

Kaip ir visų atsinaujinančių energijos šaltinių, saulės elektrinių statyba labiausiai yra inicijuojama dėl globalių ekologijos problemų (šiltnamio efekto, dirvožemio teršimo, smogo ir kt. padarinių), didėjančio klasikinių energijos šaltinių (naftos produktų, anglies, gamtinių dujų) baigtinių resursų naudojimo, energetinių blokadų baimės. Šiuos pavojus itin sustiprina nepaliaujamai didėjantis žmonijos energijos poreikis. Todėl vis labiau atsigręžiama į alternatyvius saugius, neteršiančius aplinkos bei atsinaujinančius saulės, vėjo, tekančio vandens (hidroelektrinės) energijos išteklius.

Šiuo metu saulės elektrinės statymo kaštai yra labai dideli kalbant apie ekonominį atsiperkamumą (t.y. energijos gamybos ir įrangos kainą). Todėl šiuo metu valstybė dotuoja saulės elektrinių pagamintą elektros energiją, kad investuoti pinigai saulės elektrinės statybai atsipirktų per trumpesnę laiką ir tokiu būdu saulės energetika galėtų lengviau konkuruoti su kitos rūšies elektrinėmis.

Kad saulės elektrinė atsipirktų per trumpesnę laiką, būtina ją įrengti taip, kad elektrinė veiktų kuo efektyviau. Didinant efektyvumą, elektrinė pagamins daugiau elektros energijos ir tokiu būdu sutrumpins atsiperkamumo laikotarpį. Tačiau kai kurios efektyvumą didinančios priemonės brangiai kainuoja.

Šiame darbe nagrinėjamos saulės elektrinių efektyvumą didinančių priemonių alternatyvos. Projektuojama ir įrengiama nauja saulės elektrinė esanti ant Šiaulių Universiteto Technologijos fakulteto stogo. Įgyvendinami saulės elektrinės efektyvumo gerinimo būdai, didžiausią dėmesį skiriant galios elektronikos keitikliams.

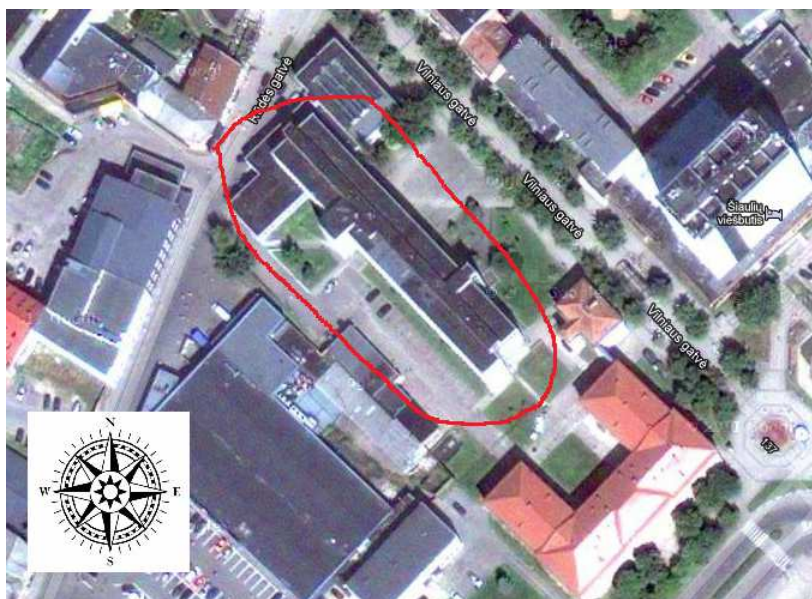
Įdiegta saulės elektrinės pagrindinių parametrų monitoringo sistema leidžia įvertinti saulės elektrinės atskirų fotomodulių, ir visos elektrinės sistemos energetinį efektyvumą. Atlikus tyrimą rasti trūkumai pašalinami panaudojant automatizuotas galios elektronikos sistemas.

Įdiegus papildomas priemones skirtas sistemos efektyvumui pagerinti, pastebimas ženklus pagamintos ir atiduotos vartotojui elektros energijos kiekio padidėjimas.

2. ANALITINĖ DALIS

2.1. Atsinaujinančių energijos šaltinių integravimo ŠU Technologijos fakultete galimybių analizė

Šiaulių Universiteto Technologijos fakultetas yra įsikūręs Šiaulių miesto centre. Pastato palydovinė nuotrauka parodyta 2.1 paveiksle.



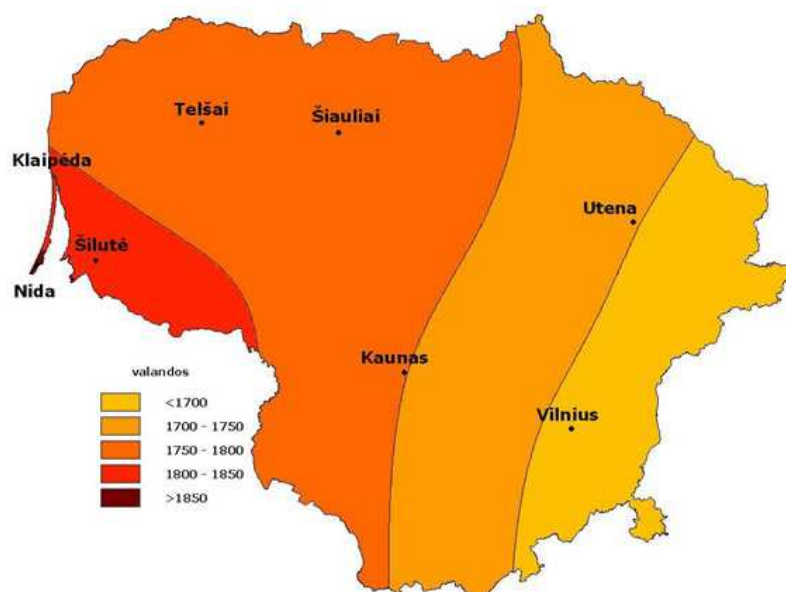
2.1 pav. Palydovo nuotrauka, kurioje vaizduojamas ŠU TF padalinys (pastatas apvestas raudona kreive) [1]

Pietinėje pastato pusėje dangaus skliauto neuždengia jokie pastatai. Todėl pastatas yra tinkamas saulės monitoringui įrengti ir atlikti tyrimus, susijusius su saulės fotoelektrinėmis ir saulės kolektoriais.

Matuoklius ir pačius fotomodulius (ar saulės kolektorius) būtų galima įrengti tiesiog ant stogo. Toks įrengimas būtų nesunkus, nes nereikia jokios papildomos technikos montavimo darbams atlikti. Reikia pabrėžti, kad ant pietvakarinės pusės sienos taip pat būtų galima tvirtinti saulės fotomodulius ar saulės kolektorius, nes šio pastato didžiąją dalį dienos yra apšviesta tiesioginiais saulės spinduliais. Kadangi pastatą galvojama renovuoti, reiktų atsižvelgti į alternatyvių energijos išteklių įdiegimą atliekant renovacijos darbus ir ant sienų įrengti su saulės energija susijusius alternatyviuosius šaltinius. Tokiu būdu būtų galima pasigaminti energijos patiems ir ją dalinai vartoti fakulteto poreikiams. Kita vertus fakultetas tokiu būdu praplėstų savo mokomąją bazę, nes šią įrangą galima būtų panaudoti studijoms.

Dauguma pastato stogo yra apšiltinta ruberoidu, apšiltinimo sluoksnis yra minkštas, ant jo negalima vaikščioti, draudžiama ant jo montuoti bet kokią įrangą, siekiant jos nepažeisti. Techninio aukšto stogo paviršius, kurį sudaro stogo perdanga aplieta bitumo dangą, nėra apšiltintas. Paviršius yra kietas, ant jo tvirtai galima įrengti monitoringo sistemą, praplėsti turimą saulės elektrinę. Senoji saulės elektrinė, kuri buvo įrengta ant stogo 2000 metais, taip pat sumontuota ant techninio aukšto stogo.

Iš 2.2 pav. matyti, kad Šiauliuose tenka apie 1775 valandos visiškai giedrų valandų per dienas. Per metus žemės paviršių Lietuvoje pasiekia apie 1000 kWh/m² saulės energijos (Švedijoje – 800–1000 kWh/m², Čekijoje – 1055 kWh/m²). Daugiau kaip 80% šios energijos išspinduliuojama per šešis mėnesius (nuo balandžio pradžios iki rugsėjo pabaigos). Birželio mėnesį per parą 1 m² horizontalaus paviršiaus pasiekia 5,8 kWh energijos kiekis, o sausį – 0,55 kWh. 1840–1900 valandų per metus saulė šviečia pajūryje, o rytiniame šalies pakraštyje – tik 1700 valandų. Tai tiek pat ar netgi daugiau nei Čekijoje (1750 val.) ar Vokietijoje (1400–1700 val.).



2.2 pav. Vidutinė metinė Saulės spindėjimo trukmė valandomis Lietuvoje, esant giedram dangui [2]

Atsižvelgus į šiuos faktus, galima daryti išvadą, kad Šiauliuose užsiimti saulės energetika yra palankios galimybės, nes saulės potencialas lyginant su kitais Lietuvos regionais nėra mažas.

2.2. Fotelektrinės energetinio efektyvumo didinimo priemonių apžvalga

Bet kokios elektrinės efektyvumo didinimas yra labai svarbus klausimas, nuo kurio priklauso pagamintos elektros energijos kiekis ir tuo pačiu atsiperkamumas. Dėl šiuo metu gana brangios techninės įrangos tai ypač aktualu atsinaujinančių šaltinių (saulės ir vėjo) elektrinėms.

Efektyvumą galima didinti įvairiais būdais. Vieni būdai yra efektyvesni už kitus, tačiau brangiau kainuoja. Taigi, reikia atsižvelgti ir į išlaidų kaštus tobulinant sistemas efektyvumo požiūriu. Kai kurios efektyvumo didinimo priemonės reikalauja pakeisti atitinkamą sistemos dalį (pvz., didesnio skerspjūvio ploto kabelių panaudojimas) ir neretai šios priemonės gerokai pabrangina įrangą, todėl padidėja atsiperkamumo laikotarpis.

Tolimesniuose poskyriuose apžvelgiami ekonomiškai ir techniškai pagrįsti saulės elektrinės efektyvumo didinimo būdai.

2.2.1. Nuolatinės srovės kabelių skerspjūvio didinimas

Toks būdas yra efektyvus, jeigu laidininkais teka didelės srovės. Laiduose tekėdamos šios srovės sukuria ženklus įtampos kritimus, kurie sukuria galios nuostolius. Nuostoliai yra tiesiogiai proporcingi srovės kvadratui:

$$P_{nuost.} = R_{laidininko} \cdot I^2 \quad (2.1)$$

Toks efektyvumo didinimo būdas yra aktualus, kai fotomoduliai yra dideliu atstumu nutolę nuo apkrovos (akumulatoriaus ar tinklo inverterio) ir juos jungiantys kabeliai yra ilgi.

2.2.2. Nuolatinės srovės pusėje saulės energiją perduoti paaukštinta įtampa

Aukštinant įtampą yra sumažinama laidininku tekanti srovė, tokiu būdu (pagal 2.1 formulę) sumažėja ir laidininko elektriniai nuostoliai. Taip padidinus įtampą atkarpoje nuo fotomodulio iki imtuvo galima sumažinti laidininkuose išsiskiriančius elektrinius nuostolius. Įtampą elektros generavimo pusėje (fotomodulių pusėje) yra aukštinama lygiagrečias fotomodulių grupes (arba pavienius fotomodulius) sujungiant nuosekliai.

Toks būdas yra dažnai naudojamas komercinėse, vidutinės ar didelės galios saulės elektrinėse. Priklausomai nuo inverterio galios ir sujungiamų fotomodulių grupės specifikos, paprastai įtampa yra padidinama iki 300 – 1200 V.

2.2.3. Šaltinio ir apkrovos darbas suderintuoju režimu

Toks režimas, kai siekiama maksimalios galios iš elektros srovės šaltinio yra vadinamas suderintuoju režimu. Tačiau norint pasiekti tokį režimą, reikia pasirinktu būdu keisti imtuvo

apkrovos varžą. Jei imtuvo varža bus lygi fotoelektrinės vidaus varžai, tuomet bus galima gauti maksimalią galią. Suderintas režimas – tai toks režimas, kai prie šaltinio prijungto imtuvo galia yra didžiausia [3].

Tokio režimo naudingojo darbo koeficientas:

$$\eta = \frac{P}{P + P_s} = \frac{R \cdot I^2}{R \cdot I^2 + R_s \cdot I^2} = \frac{R}{R + R_s}; \quad (2.2)$$

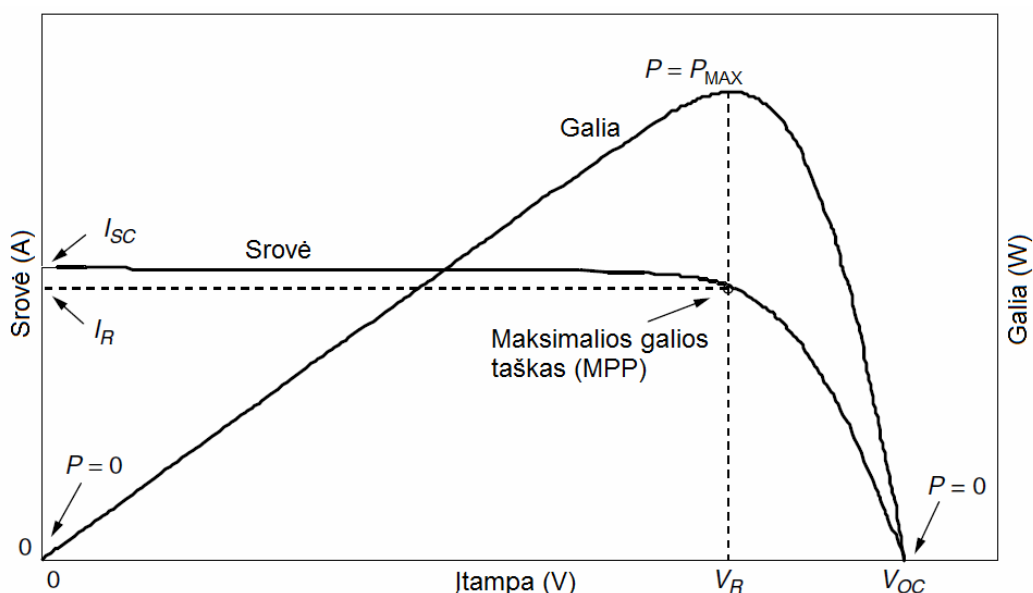
čia: P_s , R_s yra šaltinio aktyvioji galia ir aktyvioji varža;

P , R yra apkrovos aktyvioji galia ir aktyvioji varža.

Suderintojo režimo esmė yra ta, kad imtuvui atiduodama tiek pat elektros energijos, kiek suvartojama šaltinio vidaus varžoje, tuomet šaltinis atiduoda didžiausią (kokia galėtų būti tuo laiko momentu) galią.

Saulės elementai gali dirbti tuščiosios veikos, trumpojo jungimo ir tarpiniais režimais. Todėl jokio neigiamo poveikio fotovoltiniams elementams suderintas režimas nedaro.

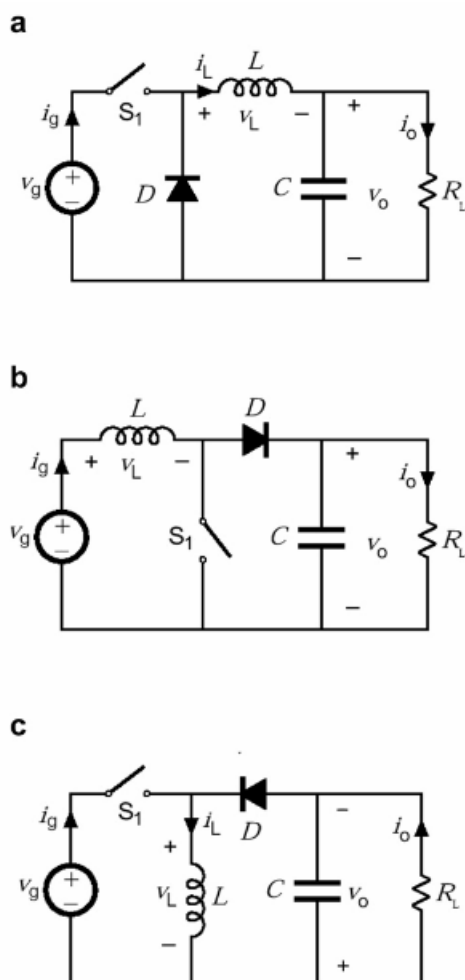
Maksimalios galios režimo darbo taškas yra pavaizduotas žemiau esančioje tipinio fotomodulio voltamperinėje $I_{foto} = f(U_{foto})$ charakteristikoje 2.3 paveiksle.



2.3 pav. Tipinė silicio fotomodulio voltamperinė charakteristika, maksimalios galios taškas [4]

Maksimalios galios režimą nustatantys keitikliai yra gaminami panaudojant nuolatinės srovės impulsinius keitiklius. Šie keitikliai yra naudojami dėl mažų nuostolių įtampos ir srovės keitimo metu (galimas efektyvumo koeficientas yra net iki 99%). Tipiniai elektros energijos keitikliai gali būti įtampą žeminantieji (angl. BUCK), aukštinantieji (angl. BOOST) ir žeminantieji-

aukštinantieji (angl. BUCK-BOOST). Projektuojant keitiklis yra parenkamas atsižvelgiant į elektros energijos šaltinio ir apkrovos charakteristikas. Pvz., jeigu saulės fotomodulis sukuria didesnę įtampą nei ji reikalinga akumuliatoriui krauti, tuomet paprastai yra parenkamas žeminantysis (toliau BOOST) keitiklis. Tipinių BUCK, BOOST ir BUCK-BOOST keitiklių schemas pateiktos žemiau esančiuose 2.4 paveiksluose.



2.4 pav. Tipinės BUCK a), BOOST b) ir BUCK-BOOST c) elektrinės schemas [8]

Realiuose keitikliuose jungiklis S_1 (raktas) yra pakeičiamas galios tranzistoriumi, dažniausiai metalo oksidų lauko tranzistoriais (angl. MOSFET), kurie uždaroje būsenoje pasižymi ypač mažais nuostoliais (dėl mažos vidinės varžos, kuri būna net iki $0,002 \Omega$). Kitas jungiklis šiuose keitikliuose yra diodas D , kuris pasižymi didele greittaveika bei mažais išsklaidomais nuostoliais. Dažniausiai naudojami žemos įtampos keitikliuose Šotkio (angl. Shotky) diodai, kurie tiesioginės įtampos charakteristikos dalyje pasižymi mažu įtampos kritimu (net iki $0,12 \text{ V}$).

Žeminančio (BUCK) keitiklio išėjimo įtampos transformacijos koeficiento priklausomybė yra tiesiogiai proporcinga impulso pločiui:

$$M(D) = D \quad (2.3)$$

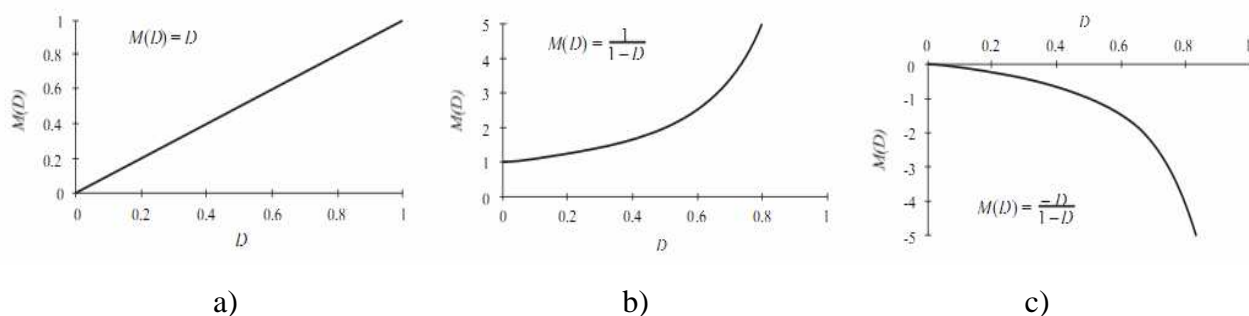
Aukštinančio keitiklio (BOOST) išėjimo įtampos transformacijos koeficiento priklausomybė nuo impulso pločio turi tokį pavidalą:

$$M(D) = \frac{1}{1-D} \quad (2.4)$$

Žeminančio-aukštinančio (BUCK-BOOST) keitiklio išėjimo įtampos transformacijos koeficiento priklausomybė nuo impulso pločio turi tokį pavidalą:

$$M(D) = \frac{-D}{1-D} \quad (2.5)$$

Žemiau esančiame 2.5 paveiksle parodytos šių keitiklių transformacijos koeficiento grafinės išraiškos.



2.5 pav. Žeminančio a), aukštinančio b) ir aukštinančio-žeminančio c) keitiklių transformacijos koeficientų grafinės išraiškos [9]

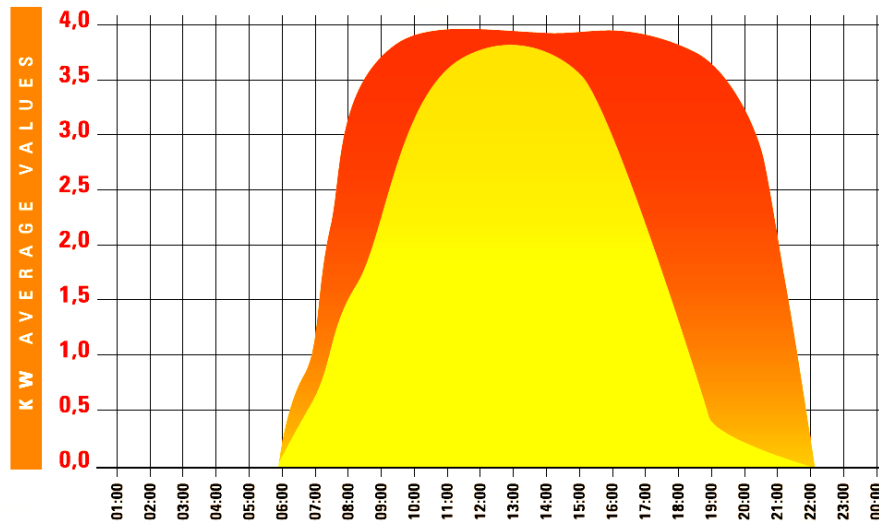
Aukštinančiajam ir aukštinančiajam-žeminančiajam keitikliams negalima dirbti, jeigu impulso plotis D yra didesnis nei 0,8. Taip yra dėl to, kad pirmajame darbo takte raktas S_1 (žr. 2.4 pav.) keitiklio induktyvųjų elementą sujungia lygiagrečiai su maitinimo šaltiniu V_g , dėl to labai stipriai išauga grandinės srovė, kuri kaupiama induktyviame grandinės elemente. Tokia srovė gali sugadinti grandinėje dirbantį raktą S_1 . Esant pilnam impulso pločiui (kai $D=1$) darbas taip pat yra negalimas, nes induktyvumas nesant srovės pokyčiui sukauptų be galo didelę srovę ir sukels trumpąjį jungimą sistemoje.

Šis būdas efektyvumui gerinti yra plačiai naudojamas dėl palyginti nedidelės kainos ir įdiegimo į sistemą paprastumo.

2.2.4. Fotomodulių pozicionavimas saulės kryptimi

Šis būdas leidžia padidinti elektros energijos gavybą iš saulės net iki 40 %. Tai turėtų ženkliai sumažinti atsiperkamumo laikotarpį.

Šis metodas yra pagrįstas saulės sekimu dangaus skliaute panaudojant šviesos intensyvumo sekimo įrangą. Tokiu būdu saulės spinduliai visada į fotomodulius krenta statmenu kampu visą šviesiąją paros dalį. Akivaizdus efektas matomas lyginant su optimaliu kampu įrengtais saulės fotomoduliais parodytas 2.6 paveiksle.



2.6 pav. Gaunamos momentinės galios palyginimas pozicionuojant fotomodulius į saulę dvejomis ašimis (raudona spalva) su optimaliu kampu įrengtais fotomoduliais (geltona spalva) [5]

Saulės sekimo įranga paprastai būna dviejų tipų: vieno arba dviejų laisvės laipsnių.

Vieno laisvės laipsnio, kai saulė dangumi sekama panaudojant vieną ašį. Čia galimos dvi reguliavimo kryptys: vertikalia horizonto atžvilgiu kryptimi – pozicionavimas vykdomas tik saulei keičiant tekėjimo aukštį danguje; horizontalia kryptimi – pozicionavimas vykdomas saulei judant dangaus skliautu horizontalia kryptimi (pakilus saulei rytuose ir leidžiantis vakaruose). Vieno laisvės laipsnio saulės sekimo įranga pavaizduota 2.7 a) paveiksle.

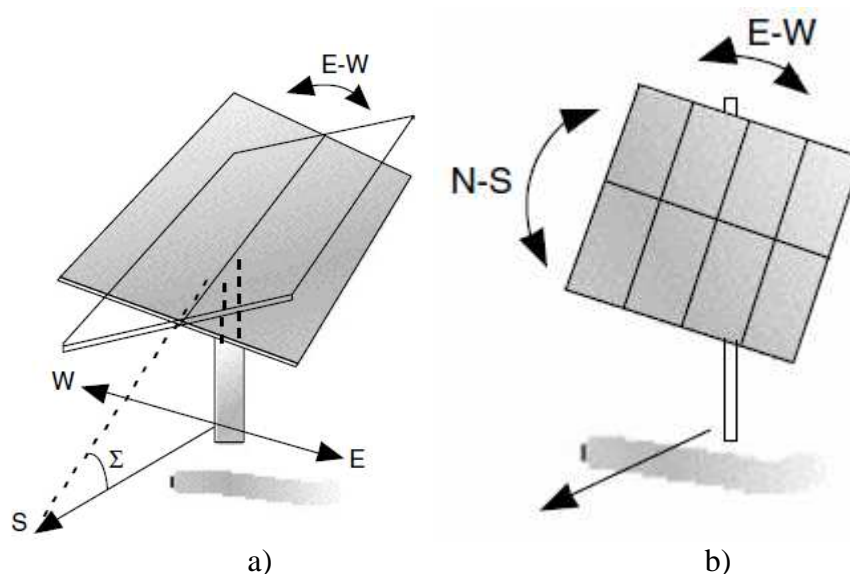
Dviejų laisvės laipsnių, kai saulės sekimas dangaus skliaute vykdomas panaudojant dvi ašis: pozicionuojant fotomodulius į saulę tiek vertikalia, tiek ir horizontalia kryptimi. Dviejų laisvės laipsnių saulės sekimo įranga pavaizduota 2.7 b) paveiksle.

Saulės sekimo įrangos gali būti pasyviosios ir aktyviosios.

Pasyvioji – kai saulė dangaus skliautu yra sekama nepanaudojant papildomos energijos. Tokios sistemos energijos gauna iš dujų arba skysčių tūrių pasikeitimų šildant arba šaldant šias medžiagas.

Aktyvioji – kai saulės sekimui dangaus skliautu yra panaudojama papildoma energija iš saulės elektrinės gaminamos elektros arba iš kito šaltinio. Tokios sistemos papildomai reikalauja energijos, tačiau saulės sekimas yra efektyvesnis. Šiam būdui yra panaudojami elektronikos komponentai saulės kryptčiai nustatyti. Papildoma energija yra reikalinga valdymo grandinėms

(valdymo signalus formuojančios grandys) ir elektros varikliams, kurie fotomodulius pozicionuoja į saulę.

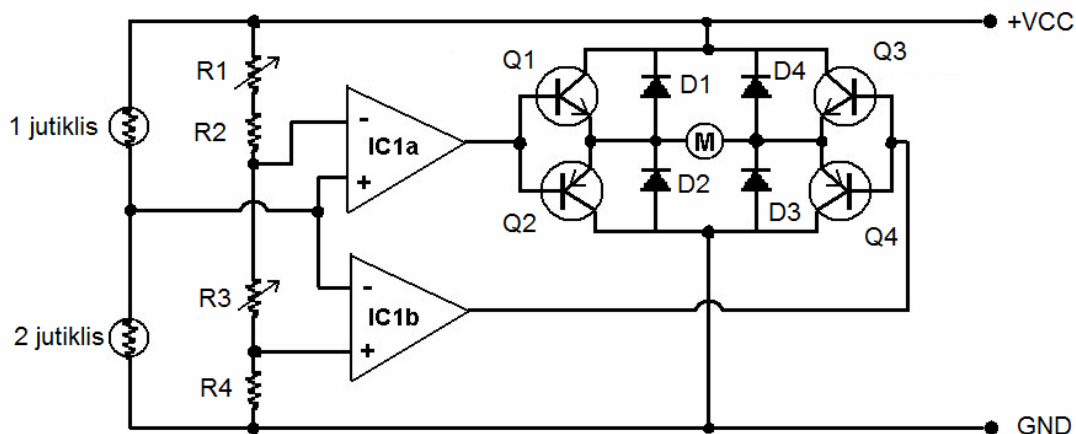


2.7 pav. Saulės sekimo dangaus skliautu sistemos: a) vieno laisvės laipsnio; b) dviejų laisvės laipsnių [4]

Saulės sekimas gali būti vykdomas programuojamo laikmačio pagalba, nustatant pasisukimo kampo vertę reikiamu laiko momentu.

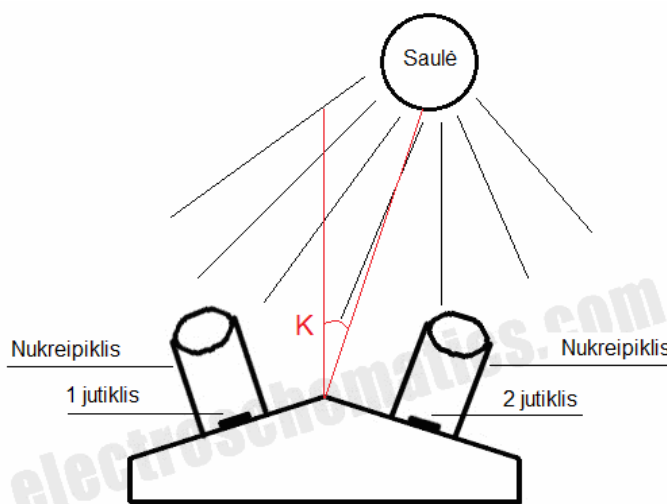
Taip pat saulės sekimas gali būti vykdomas panaudojant diferencines sistemas, kurios matuoja šviesos intensyvumo skirtumą ir tokių būdu plokštumą į saulę pozicionuoja statmenu kampu. Tokios sistemos gali būti skaitmeninės ir analoginės. Abiem atvejais valdymo sistema siekia, kad į diferencinius įėjimus patenkantis signalų intensyvumas iš jutiklių būtų vienodas, priešingu atveju sistema parinks tokį kampą, kad saulės spinduliai vienodu lygiu apšviestų šviesos intensyvumo jutiklius.

Diferencinę dalį gali sudaryti du fotorezistoriai, kurie sujungti nuosekliai sudaro įtampos daliklį. Įtampos daliklio signalas patekęs į operacinius stiprintuvus IC1a ir IC1b yra palyginamas su užduotąja verte, kurią nustato R1 ir R3 paderinami rezistoriai. Operacinio stiprintuvo išėjimo signalas paprastai sujungtas su galios stiprintuvu (šiuo atveju su įtampos kartotuvu Q1-Q4), kuris sustiprinęs srovę pasuka mechaninę pavarą elektros varikliu reikiamu kampu. Tokios sistemos analoginės elektronikos variantas pateiktas žemiau esančiame 2.8 paveiksle.



2.8 pav. Tipinė diferencinės saulės sekimo sistemos elektrinė schema [6]

Tokios sistemos yra projektuojamos atskirai kiekvienam laisvės laipsniui ir dirba nepriklausomai. 1 ir 2 jutikliai išdėstyti išilgai reguliuojamo laisvės laipsnio ir pasukti nuo 45 iki 10 laipsnių kampu reguliuojamos ašies kryptimi kaip parodyta 2.9 paveiksle.



2.9 pav. Diferencinės saulės sekimo sistemos jutiklių išdėstymas [7]

Nukreipikliai yra reikalingi tam, kad nuo stiprios saulės spinduliuotės jutiklių išėjimo signalai neįsisotintų bei siekiant padidinti jutiklių signalų kontrastą.

Kaip matyti iš 2.9 paveikslo, fotomoduliai prie kurių pritvirtinta jutiklių galvutė pasisuks į saulę pažymėtu kampu K.

Nors saulės sekimas padidina sistemos efektyvumą, ši priemonė brangiai kainuoja (ypač dviejų laisvės laipsnių). Todėl saulės elektrinės atsiperkamumo laikotarpis sutrumpėja nežymiai.

Magistrinio darbo metu 2 skyrelyje susipažinta su susijusių darbų užsienio autorių tyrimais [10-18] literatūros sąrašė nurodytais moksliniais straipsniais.

3. PRAKTINĖ DALIS

Išanalizavus fotoelektrinės efektyvumo didinimo būdus, pritaikant šiuolaikiškas technologijas, jau galima pagalvoti ir apie senos fotoelektrinės modernizavimą.

3.1. Senosios fotoelektrinės įrangos apžvalga

Išanalizavus projektą, atskirų mazgų techninę dokumentaciją ir pačią elektrinę padarytos tokios išvados:

- Fotoelektrinės įrangą buvo įsigyta 1997 m. ir tik 2010 m. ji buvo surinkta ir išbandyta. Per šį laikotarpį elektrinė techniškai ir moraliai paseno.
- Esamos įrangos techninė dokumentacija yra skurdi, todėl nėra žinoma ar jos dalys atitinka šiuolaikinius reikalavimus tokio tipo elektrinėms. Bandymai realizuoti saulės energijos monitoringo postą atsiremia į piranometro trūkumo problemą, nes jis taip pat yra nupirktas 1997 m. ir yra nepatikimas.
- Fotoelektriniai moduliai ir piranometro jutikliai yra monokristalinio silicio, todėl jų senėjimo įtaką turėtų būti nedidelė. Kad būtų galima patikrinti kaip pasikeičia fotomodulių efektyvumas jiems senėjant, būtų gerai šalia senųjų, palyginimui išbandyti ir panašios struktūros naujesnius fotomodulius.
- Didelių abejonių kelia fotoelektrinės aparatūros tarpusavio suderinamumas.
- Vienas iš svarbiausių šio darbo uždavinių yra ištirti fotomodulių energetinį efektyvumą Šiaulių regiono sąlygomis. Tam tikslui turi būti naudojamas piranometras, kuris išmatuoja saulės spinduliuojamą energiją.
- Nevykdomas saulės elektrinės monitoringas, nėra nuolat matuojami elektriniai parametrai, todėl neįmanoma gauti informacijos apie elektrinės dalies veikimo savybes. Negalima laiko atžvilgiu išmatuoti kiekybinių ir kokybinių rodiklių.
- Dėl nesamo saulės elektrinės monitoringo, negalima realiu laiku stebėti fotoelektrinės darbo.
- Nėra žinomas fotoelektrinės elektrinės dalies energetinis efektyvumas.

Senąją elektrinę sudarė šie elementai:

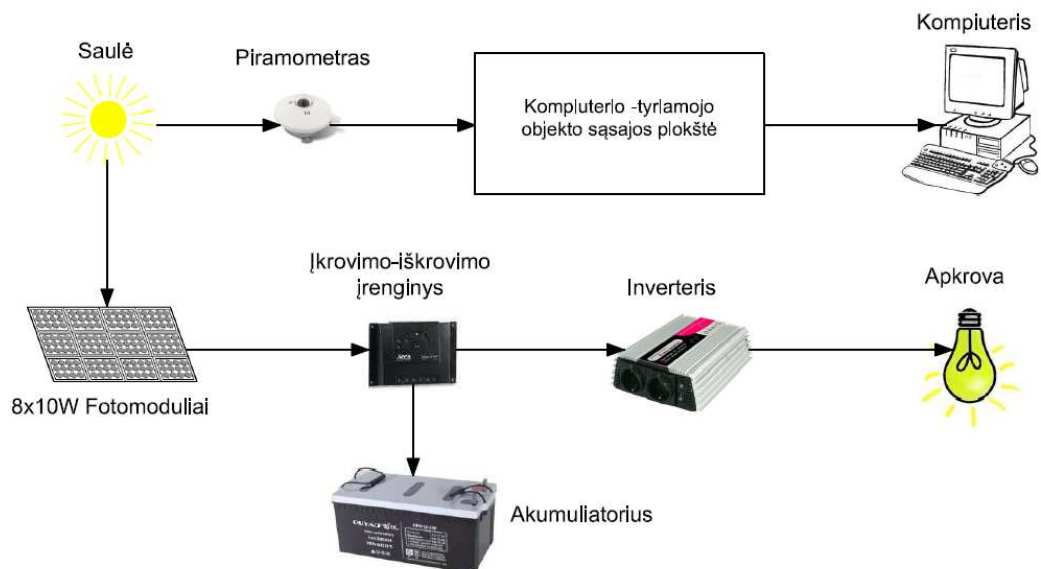
- 8 fotomoduliai po 10 W;
- akumulatoriaus įkrovimo įtaisas;

- akumulatorius;
- autonominis 12 V nuolatinės įtampos keitiklis į 230 V kintamąją (įtampos inverteris);
- vietinė apkrova;
- piranometras.

Senosios elektrinės ant stogo bendras vaizdas parodytas 3.1 paveiksle, struktūrinė elektrinės schema parodyta 3.2 paveiksle, saulės elektrinės fotoelementų charakteristikos pateiktos 3.1 lentelėje.



3.1 pav. Senosios fotovoltinės elektrinės bendras vaizdas



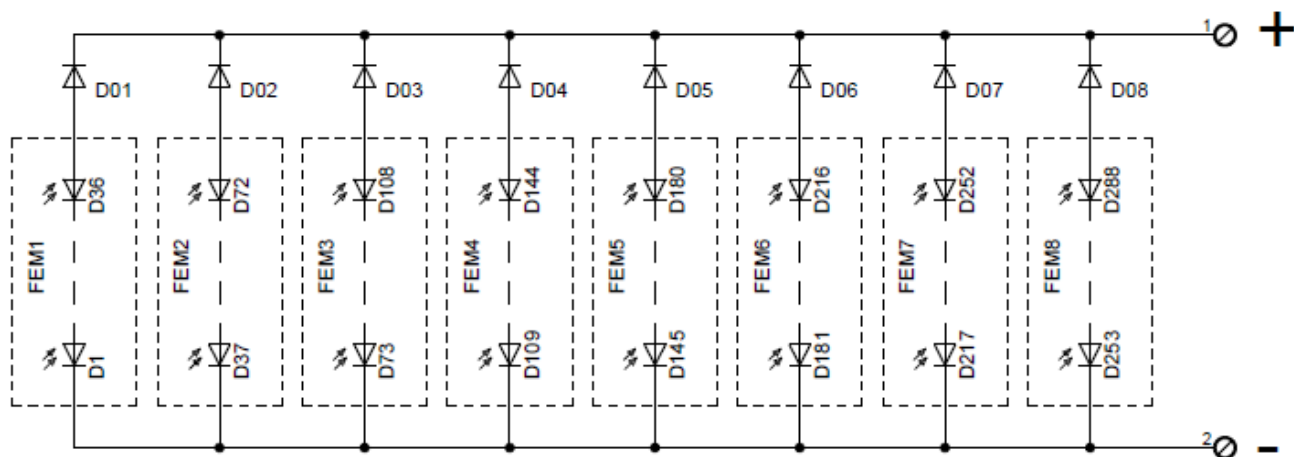
3.2 pav. Senosios fotoelektrinės struktūrinė schema

3.1 lentelė

Tiriamąjį fotomodulio parametrai

FEM tipas	U_0	U_N	I_N	P_N	I_K	Standartinė apšvieta	η_N	S_{FEM}
-	V	V	A	W	A	W / m^2	-	m^2
SM-10-16/12	19,5	14,6	0,69-1,1	10-16	0,8-1,28	1000	0,14	0,23

Visi 8 fotomoduliai FEM1 – FEM8 sujungti lygiagrečiai į vieną magistralę per apsauginius diodus D01 – D08 (3.3 pav.). Šie diodai yra jungiami tam, kad tarp fotomodulių tarpusavyje netekėtų parazitinės srovės, kurios atsiranda dėl fotovoltinių elementų parametrų išsibarstimo ir dėl netolygios jų apšvietos. Jei šių diodų nebūtų, tuomet mažiau apšviestas fotovoltinis elementas naudotų labiau apšviesto fotovoltinio elemento sukurtą srovę, ir tuo pačiu sumažėtų srovė, tenkanti apkrovai.



3.3 pav. Fotovoltinės elektrinės principinė elektrinė schema

Kaip matyti iš 3.3 paveikslo, vienas fotomodulis turi 36 fotodiodus (fotocelės), kurie turi padidintą apšviestumo plotą, kad savo didesniu paviršiumi galėtų absorbuoti kuo daugiau krintančių saulės spindulių.

2012 m. birželio 12 dieną 13 valandą 12 minučių buvo atliktas senosios elektrinės fotovoltinių elementų voltamperinės charakteristikos matavimo tyrimas. Pasinaudota UAB „LITRADA“ viename iš padalinių esančio saulės šiluminių kolektorių įrangos piranometro rodmenimis. Šis piranometras yra nuo fakulteto nutolęs apie 200 m. atstumu, tą dieną dangaus skliautas buvo giedras, todėl saulė spinduliavo radiacinį foną pakankamai tolygiai į žemės paviršių. Piranometro rodmenis buvo galima stebėti internetu, prisijungus prie valdymo kompiuterio. Tuo metu saulės aktyvumas apytiksliai siekė $E_h = 1223 \text{ W} / \text{m}^2$.

Gauti duomenys pavaizduoti 3.2 lentelėje; gautos charakteristikos pavaizduotos 3.4 paveiksle.

3.2 lentelė

Gauti 8x10W fotomodulių bloko bandymo rezultatai

$U_{apk.}, V$	$I_{apk.}, A$	$R_{apk.}, \Omega$	$P_{apk.}, W$
17,36	0,16	108,50	2,78
17,3	0,18	96,11	3,11
17,19	0,23	74,74	3,95

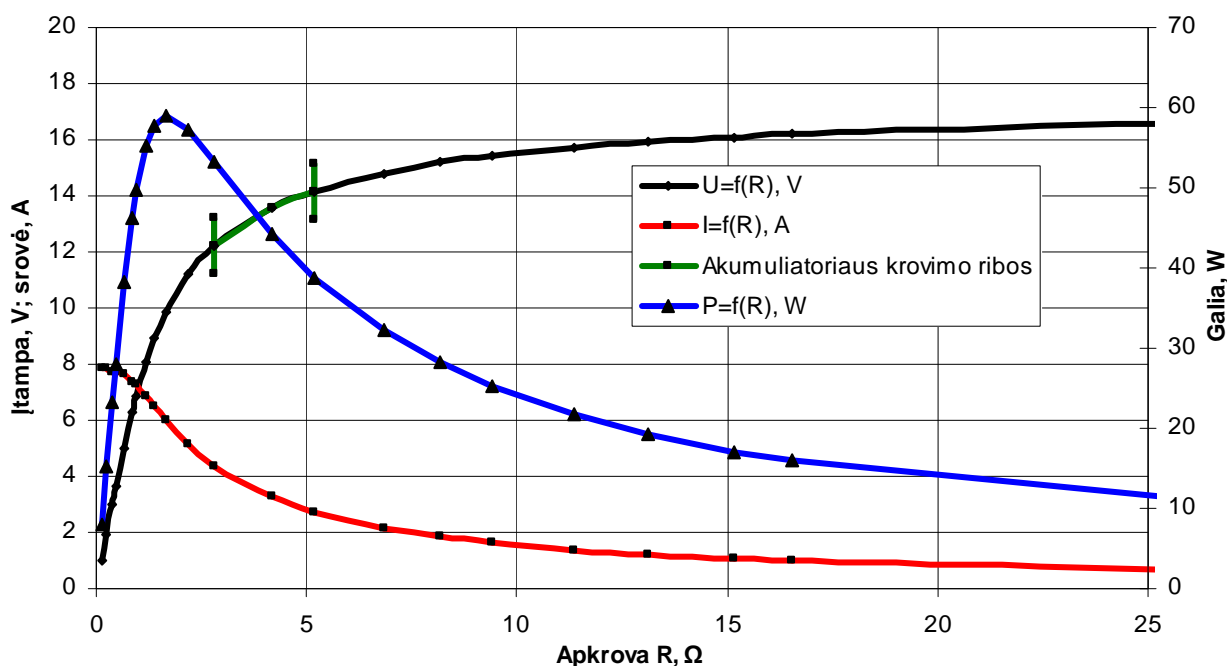
Gauti 8x10W fotomodulių bloko bandymo rezultatai

$U_{apk.}, V$	$I_{apk.}, A$	$R_{apk.}, \Omega$	$P_{apk.}, W$
17,11	0,286	59,83	4,89
17,02	0,348	48,91	5,92
16,88	0,449	37,59	7,58
16,72	0,573	29,18	9,58
16,2	0,98	16,53	15,88
16,09	1,06	15,18	17,06
15,92	1,212	13,14	19,30
15,68	1,38	11,36	21,64
15,41	1,64	9,40	25,27
15,19	1,86	8,17	28,25
14,81	2,17	6,82	32,14
14,17	2,74	5,17	38,83
13,6	3,26	4,17	44,34
12,23	4,35	2,81	53,20
11,18	5,11	2,19	57,13
9,85	6	1,64	59,10
8,91	6,48	1,38	57,74
8,09	6,83	1,18	55,25
6,86	7,27	0,94	49,87
6,3	7,35	0,86	46,31
5	7,64	0,65	38,20
3,62	7,71	0,47	27,91
2,99	7,75	0,39	23,17
1,94	7,85	0,25	15,23
1	7,88	0,13	7,88

Kaip matyti iš rezultatų, maksimali galia gauta suderintu režimu siekia 59,10 W (3.2 lentelėje paryškinta raudonai). Akumuliatorius yra kraunamas žaliai ir geltonai parodytuose lentelės plotuose. Geltonai pabrėžtoje lentelės vietoje akumuliatorius yra pilnai iškrautas. Toks akumuliatoriaus iškrovimas yra neleistinas.

Žinant gautą suderintojo režimo maksimalią galią $P_{apk.max}$, fotovoltinės elektrinės aktyvųjį plotą S_{FEM} ir apšvietą buvusią matavimo metu E_h , galima rasti apytikslį saulės fotovoltinės elektrinės efektyvumą saulės energija verčiant į elektros energija. Efektyvumą galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$\eta = \frac{2 \cdot P_{apk.max}}{S_{FEM} \cdot E_h} = \frac{2 \cdot 59,10}{8 \cdot 0,23 \cdot 1223} \approx 0,0525 \approx 5,3\% \quad (3.1.)$$



3.4 pav. Esamos fotovoltinės elektrinės charakteristikos

Iš 3.4 paveikslo matyti, kad akumulatorius nėra kraunamas maksimalia galia, ji šiek tiek mažesnė.

Gautas saulės energijos vertimo į elektros energiją koeficientas yra labai mažas lyginant su šiuolaikinių saulės fotomodulių naudingumo koeficientais. Tačiau šis skaičiavimas neįvertino galios nuostolių laiduose esančiuose nuo fotomodulių iki elektrinės įrangos, dėl kurių energijos efektyvumas taip pat sumažėja. Šiais laikais rinkoje esančių silicio polikristalinių saulės elementų apkrovai atiduodamos energijos naudingumo koeficientas siekia 14-17,4 %, o monokristalinių net iki 24 %.

Galima manyti, kad tų laikų technologijomis (1997 m.) pagaminti fotomoduliai paseno, nes gamintojas nurodė, kad fotomodulių efektyvumas siekia 14 %, o bandymo metu buvo gauta tik 5,3 %. Jeigu taip, tai efektyvumas sumažėjo 2,6 karto.

Būtų galima papildomai paminėti, kad naudojant tokią elektrinę įrangą neįmanoma atlikti jokie sudėtingesnio eksperimento, nes nėra atliekama daug svarbių matavimų (pvz., elektrinių dydžių (įtampos, srovės) matavimai charakteringuose saulės elektrinės sistemos taškuose).

Be to atliktas eksperimentas nėra visai likvidus (rinkoje tokie fotomoduliai beveik nebenaudojami). Todėl yra būtina atnaujinti saulės elektrinę taip, kad joje būtų galima tyrinėti šiuolaikinius (antros kartos silicio) fotomodus, taip pat būtinas saulės radiacijos, fotomodulio plokštelės temperatūros ir fotoelektrinės elektrinės dalies monitoringas. Tai pat būtų gerai, kad saulės elektrinėje būtų galima tyrinėti dviejų tipų elektrines:

- Saulės elektrinė, kuri nėra integruojama dirbti sinchroniškai su elektros tinklu, bet dirba autonomiškai su apkrova. Tokia sistema turi energijos kaupiklį – akumuliatorių.
- Saulės elektrinė sinchroniškai dirbanti su elektros tinklu. Tokia sistema turi specialų keitiklį, kuris sinchronizuoja ją prie tinklo ir saulės elektrinės pagaminta energiją atiduodama į skirstomąjį tinklą.

3.2. Naujos saulės elektrinės įrangos aprašymas

Atnaujinti saulės elektrinei buvo įsigyta naujos įrangos. Žemiau pateikta įsigyta įranga ir jos aprašymas.

3.2.1. Fotomodulis GT-70PCX

2012 m. buvo įsigyti 5 polikristaliniai fotomoduliai, kurių suminė galia (5×70 W). Fotomodulių charakteristikos pateiktos 3.3 lentelėje.

3.3 lentelė

Fotomodulio GT-70PCX charakteristikos [19]

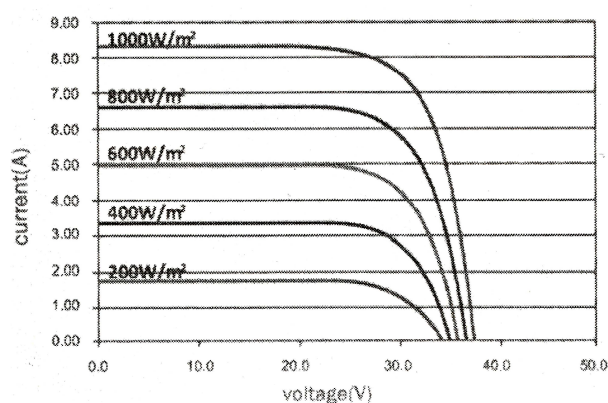
Tipas	GT-70PCX
Maksimali išėjimo galia P_{\max} , W	70
Maksimalios galios įtampa U_{mp} , V	18,0
Maksimalios galios srovė I_{mp} , A	3,88
Tuščiosios veikos įtampa U_{OC} , V	21,74
Trumpojo jungimo srovė I_{SC} , A	4,16
Matmenys, mm	895x668x35
Svoris, kg	6,8
Darbinė temperatūra, °C	-40 ~ +85

3.2.2. Fotomodulis LNSF-290P

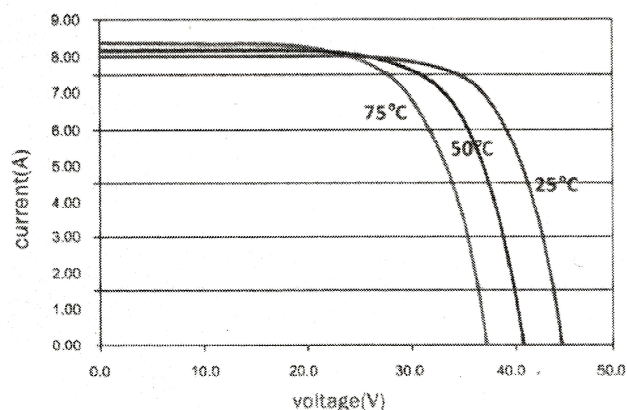
Bendradarbiaujant su UAB „LITRADA“ buvo gautas 290 W polikristalinis galios fotomodulis. Šio fotomodulio charakteristikos pakeiktos 3.4 lentelėje, voltamperinių charakteristikų šeimos nuo apšviestumo pateiktos 3.5 a) paveiksle, voltamperinių charakteristikų šeimos nuo temperatūros pateiktos 3.5 b) paveiksle.

Fotomodulio LNSF-290P charakteristikos [9]

Elektrinės dalies charakteristikos	
Charakteristika	Reikšmė
Vardinė išėjimo galia P_{mp} , W	290
Maksimali išėjimo galia P_{max} , W	294,99
Fotomodulio efektyvumas η_c , %	17,3~17,6
Maksimalios galios įtampa U_{mp} , V	36,16
Maksimalios galios srovė I_{mp} , A	8,01
Tuščiosios veikos įtampa U_{OC} , V	45
Trumpojo jungimo srovė I_{SC} , A	8,65
Temperatūros charakteristikos	
Maksimalios galios priklausomybė nuo temperatūros $P_{mp\%}$, %/°C	-0,40
Tuščiosios veikos įtampos priklausomybė nuo temperatūros $U_{OC\%}$, %/°C	-0,32
Trumpojo jungimo srovės priklausomybė nuo temperatūros $I_{SC\%}$, %/°C	+0,04
Darbinė temperatūra °C	nuo -40 iki +85
Matmenys, mm	1950x990x50
Svoris, kg	23
Fotocelių matmenys/kiekis, mm/vnt.	156x156/72
Maksimali leistina sniego masė kg/m	550
Maksimalus leistinas vėjo greitis km/h	200
Krušos atlaikymo testas	80km/h lekiantis 25mm ledo rutuliukas



a)



b)

3.5 pav. LNSF-290P fotomodulio voltamperinių charakteristikų šeimos priklausomybės: a) nuo apšviestumo; b) nuo temperatūros

3.2.3. „Grid tie“ tipo įtampos keitiklis (tinklo inverteris)

Tai 500 W galios keitiklis verčiantis nuolatinę įtampą į kintamąją, kuri atiduodama į tinklą. Šis keitiklis fotoelektrinės pagamintą energiją atduos į vietinius fakulteto tinklus.

Keitiklis pats be papildomos įrangos prisisynchronizuoja prie tinklo. Jis kartu su fotomoduliais dirba suderintuoju maksimalios galios režimu.

Keitiklio bendras vaizdas parodytas žemiau esančiame 3.6 paveiksle. Inverterio techniniai duomenys pateikti žemiau esančioje 3.5 lentelėje.



3.6 pav. „Grid tie“ tipo elektros energijos keitiklis

3.5 lentelė

„Grid tie“ tipo elektros energijos keitiklio duomenys [20]

Maksimali nuolatinės įtampos (įėjimo) galia, P_{in} , W	600
Maksimali įėjimo įtampa, U_{DCmax} , V	30
Įėjimo įtampos darbinis intervalas, $U_{DCrange}$, V	10,5~28
Naudingumo koeficientas dirbant keitikliui maksimalia galia η , %	99
Maksimali įėjimo srovė I_{DCmax} , A	30
Išėjimo galia, P_{OUT} , W	600
Kintamosios tinklo įtampos darbinis intervalas $U_{ACrange}$, V	180~260
Darbinio dažnio ribos, Hz	nuo 45 iki 53
Išėjimo srovės formos iškraipymas THD, %	<5
Budėjimo režime naudojama galia, W	2
Temperatūros darbinis intervalas, °C	Nuo -25 iki +60
Svoris, kg	3

3.3. Naujos demonstracinės fotoelektrinės projektavimas

Nauja fotoelektrinė bus įrengta ant stogo, šalia senosios elektrinės. Fotoelektrinę sudarys ant stogo sumontuoti fotomoduliai ir elektrinė įranga, kuri bus žemiau esančiame ketvirtame aukšte. Sumontuoti antros kartos silicio polikristaliniai fotomoduliai, kurie atitinka šiuolaikinių fotomodulių charakteristikas.

Nauja statoma fotoelektrinė turi atitikti šiuos reikalavimus:

- Saulės elektrinės fotomoduliai yra skirtingų charakteristikų. Būtina galimybė atlikti eksperimentus su visais kartu ir su kiekvienu iš jų atskirai.
- Saulės elektrinės generuojama elektros energija turi būti perduodama vartotojui kuo efektyviau, todėl būtina įdiegti priemonės efektyvumui gerinti.
- Saulės elektrinės fotomoduliai turi būti išnaudojami efektyviai (jie turi būti apkraunami maksimaliai). Tokiu būdu fotomodulių atsiperkamumo laikotarpis yra mažiausias, nes pagaminama daugiausiai energijos.
- Saulės elektrinės įrangos dalis turi būti tokio tipo, kad būtų galima atlikti eksperimentus elektrinei dirbant su energijos kaupikliu – akumuliatoriumi, tiek ir su tinklo inverteriu.
- Turi būti įrengtas akumuliatoriaus įkrovos-iškrovos valdiklis, kuris pagal akumuliatoriaus gamintojo rekomendacijas tinkamai įkrautų ir iškrautų akumuliatorių.
- Turi būti numatytas autonominis elektros energijos vartojimas, tai pat prireikus elektros energija turi būti atiduodama į fakulteto elektros tinklą.
- Įkrovus akumuliatorių, perteklinė energija turėtų būti atiduodama į fakulteto tinklą.
- Saulės elektrinės įranga turi tenkinti saugos reikalavimus, ji neturėtų kelti pavojaus fakulteto turtui bei žmonių sveikatai.
- Turi būti atliekamas saulės radiacijos intensyvumo ir fotoelektrinės elektrinių dydžių monitoringas. Monitoringo duomenys turi būti kaupiami (archyvuojami).

3.3.1. Fotomodulių įrengimas ant stogo

Įsigyti fotomoduliai turi būti įrengti netoli senosios elektrinės, nes šalia jos yra nutiesti papildomi rezerviniai kabeliai atnaujinimams, kuriais elektros energiją bus galima perduoti į 402 kabinetą, kur bus įrengta saulės elektrinės įranga. Tai pat šalia senosios elektrinės yra sumontuotas saulės radiacijos monitoringo postas.

Senoj elektrinė yra sumontuota nejudamai, parinktas optimalus kampas į saulę yra lygus 45 laipsniams pietų kryptimi.

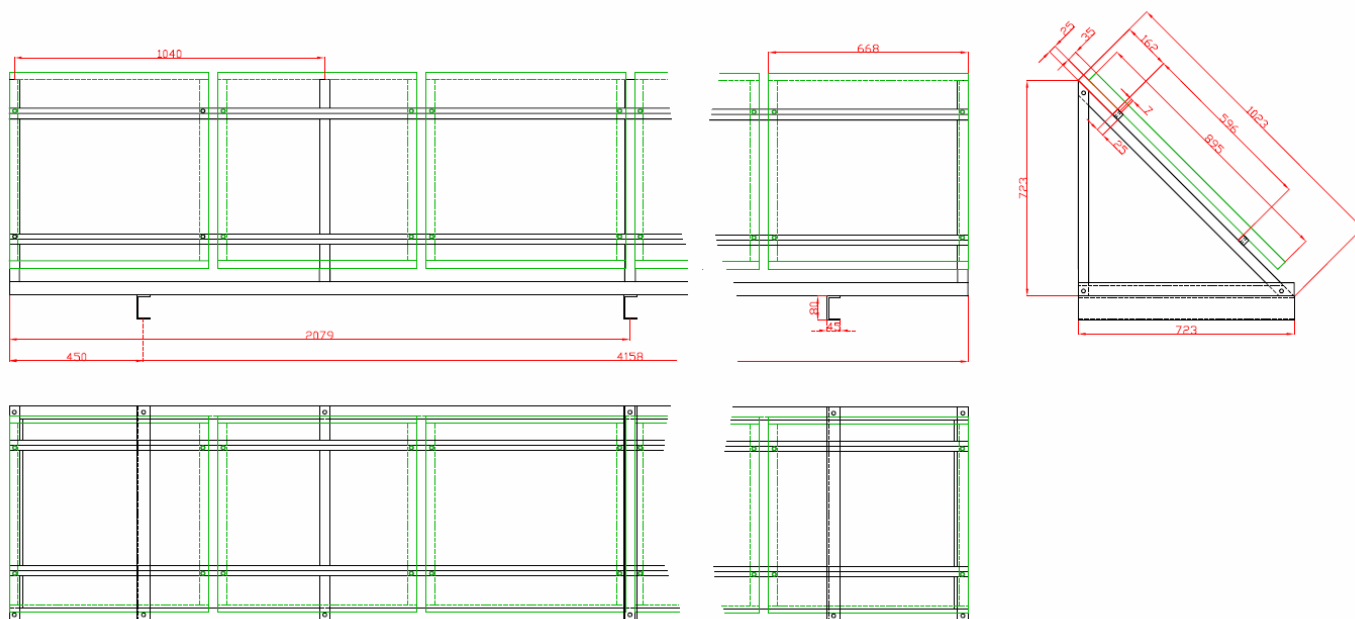
Tokiu pat principų suprojektuoti rėmai naujiems fotomoduliams. Parinktas optimalus kampas toks pat kaip senosios elektrinės, rėmas prisukamas prie stogo nejudamai, fotomoduliai orientuoti į pietus.

GT-70PCX fotomoduliams rėmas suprojektuotas penkioms panelėms. Projektavimui panaudotas „AUTOCAD“ programinis paketas. Rėmo dalys – plieniniai valcuoti kelių tipų profiliai.

Surinkimo brėžinys parodytas 3.7 paveiksle, plieno profilių poreikis parodytas žemiau esančioje 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė

Fotomodulių GT-70PCX bloko rėmo detalių poreikis			Ilgų suma, mm
30x30mm kampinis profilis			
Kiekis:	4	4	
Ilgis, mm:	1022	673	8366
45x45mm kampinis profilis			
Kiekis:	2	2	
Ilgis, mm:	723	3460	2169
80x45mm lovys			
Kiekis:	3		6920
Ilgis, mm:	723		
25x25mm stačiakampis vamzdis			6920
Kiekis:	2		
Ilgis, mm:	3460		

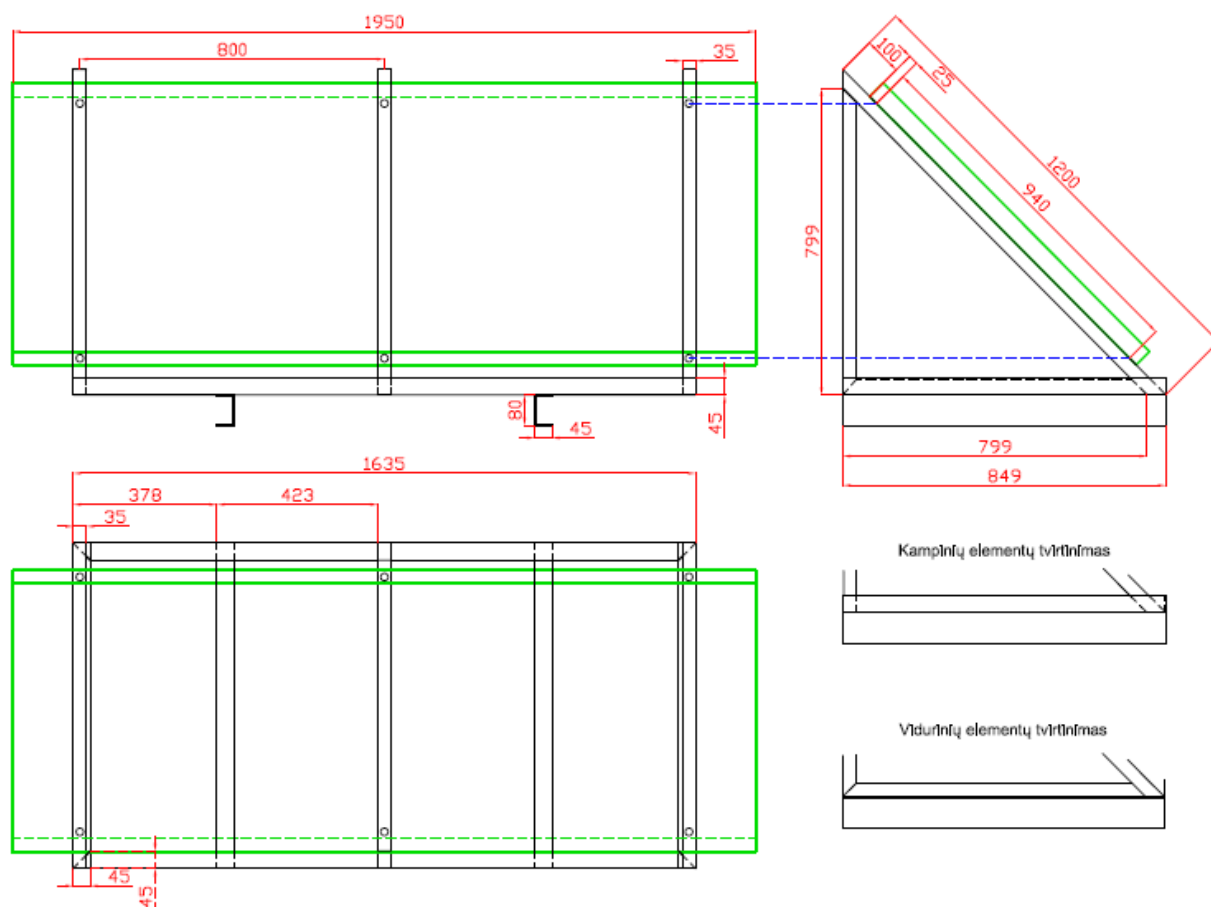


3.7 pav. Fotomodulių GT-70PCX bloko rėmo surinkimo brėžinys: juoda – rėmas; žalia – fotomoduliai

LNSF-290P fotomoduliui suprojektuotas atskiras rėmas. Rėmo dalys – plieniniai valcuoti kelių tipų profiliai. Surinkimo brėžinys parodytas 3.8 paveiksle, plieno profilių poreikis parodytas žemiau esančioje 3.7 lentelėje.

Fotomodulio LNSF-290P rėmo detalių poreikis

30x30mm kampinis profilis			Ilgių suma, mm
Kiekis:	3	3	5997
Ilgis, mm:	799	1200	
45x45mm kampinis profilis			4968
Kiekis:	2	2	
Ilgis, mm:	1635	849	
80x45mm lovys			1698
Kiekis:	2		
Ilgis, mm:	849		



3.8 pav. Fotomodulio LNSF-290P rėmo surinkimo brėžinys: juoda – rėmas; žalia – fotomodulis.

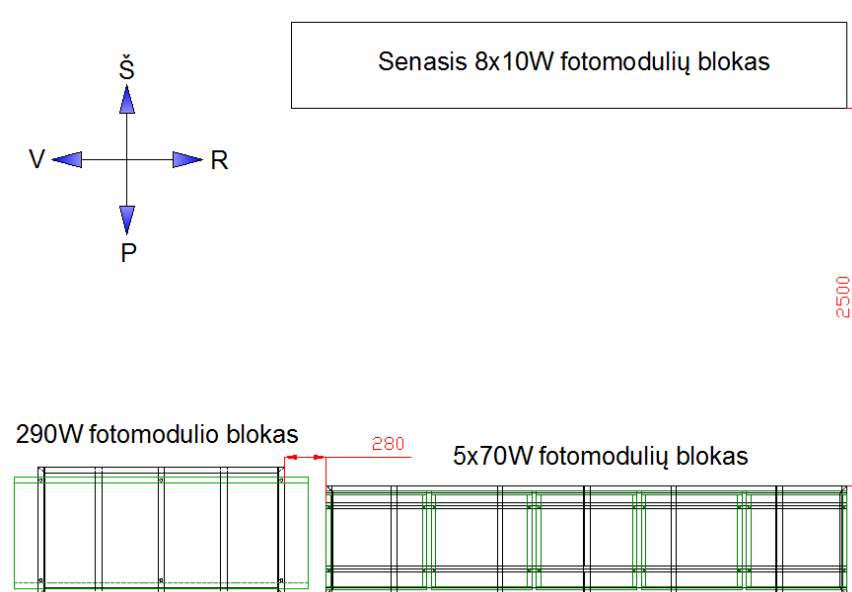
Rėmų detalės suvirintos tarpusavyje, tokiu būdu gaunamas vienalytis standus gaminys.

Suvirinti rėmai kruopščiai nuvalius paviršių, padengti gruntu, kuris apsaugo metalą nuo korozijos. Nugruntuotas paviršius uždažytas pilkos spalvos emaliniais dažais.

Atstumas tarp senosios elektrinės ir naujų fotomodulių blokų parinktas atsižvelgiant į vidutinį žiemos metu esantį saulės aukštį virš horizonto apie 20 laipsnių ir aukščiausios kliūtis sukuriiančios šešėlį. Aukščiausia kliūtis sukurianti šešėlį yra 290 W fotomodulis įtvirtintas į jam skirtą rėmą. Kliūtis aukštis yra $H = 0,93m$. Randame aukščiausio objekto šešėlio ilgį:

$$l_{\text{šešėlio}} = \frac{H}{\tan(20^\circ)} = \frac{0,93}{0,364} \approx 2,5m. \quad (3.1)$$

Pagal šį ilgį, kad nekristų šešėlis ant senosios elektrinės fotomodulių, parenkamas naujų fotomodulių atstumas nuo senųjų bloko. Fotomodulių išdėstymo ant stogo planas parodytas žemiau esančiame 3.9 paveiksle. Bendro vaizdo nuotrauka pavaizduota 3.10 paveiksle.



3.9 pav. Fotoelektrinės modulių blokų išdėstymo planas



3.10 pav. Fotoelektrinės bendras vaizdas

3.3.2. Saulės elektrinės elektrinių grandinių projektavimas

Saulės elektrinės elektrinių grandinių projektavimas yra pagrįstas 3.3 skyrelio punktuose išvardytais reikalavimais.

Elektrinė įrengiama tam, kad Šiaulių Universiteto Technologijos fakultetas turėtų šiuolaikinę saulės elektrinę. Ši elektrinė bus naudojama nekomerciniais tikslais. Esminė jos paskirtis – mokslinių tyrimų bazė ir techninė įranga studijoms.

Projektuojant elektrinę dalį, įgyvendinami techniniai sprendimai, leidžiantys padidinti saulės elektrinės efektyvumą. Tam tikslui kuriamos galios elektronikos keitiklių schemos, duomenų surinkimo ir atvaizdavimo sistema, automatika.

Elektroninė įranga yra projektuojama ir įdiegiama tam, kad elektrinė dirbtų kiek galima efektyviau. Toks efektyvumas yra pagrįstas tuo, kad:

- Elektronika geba greitai reaguoti į pakitusius elektrinius parametrus (įtampą, srovę).
- Galima stiprinti arba slopinti reikiamus signalus. Slopinti reikia per didelio lygio signalus, arba trikdžius, kurie trukdo harmoningam sistemos darbui. Stiprinti reikia, kai signalo lygis yra nepakankamas arba norima sumažinti trikdžio poveikį (pvz., jutiklio signalo lygio padidėjimas, norint sumažinti trikdžio poveikį signalą perduodant dideliu atstumu).
- Naudojant elektrinius valdiklius galima automatizuoti reikiamus procesus. Automatizavus procesus, objektai gali būti valdomi be žmogaus įsikišimo. Automatika leidžia žymiai operatyviau vykdyti valdymo procesus, eliminuoti žmoniškąjį faktorių.
- Galios elektronika leidžia labai efektyviai keisti elektros energijos kiekybinius rodiklius (įtampą ir srovę) išlaikant tokią pat galią, nes šiuolaikinės galios elektronikos komponentais virsmo metu išsiskiria sąlyginai labai maži energetiniai nuostoliai.

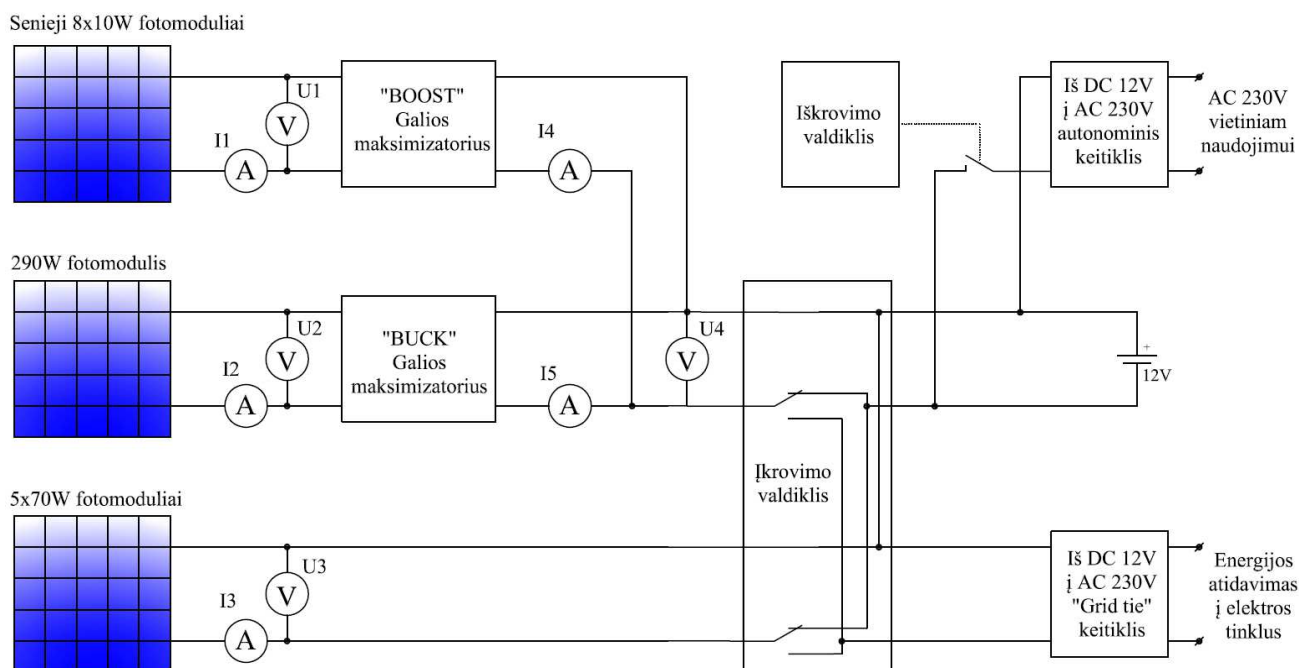
Įvertinus šiuos elektronikos komponentų privalumus bei potencialą, bus siekiama saulės elektrinę modernizuoti pritaikant galios elektronikos sprendimus, siekiant geresnio, patikimesnio saulės elektrinės darbo, monitoringo ir valdymo.

Saulės elektrinės elektriniai parametrai, saulės spinduliuotės galios ir fotomodulių temperatūros duomenys turi būti kaupiami kompiuteryje ir archyvuojami, siekiant atlikti išsamius tyrimus. Tam tikslui yra numatyta įdiegti duomenų surinkimo sąsajos plokštę turinčią didelės raiškos analoginius įėjimus. Panaudojant programinį paketą „MATLAB“ bus galima kaupti, apdoroti ir atvaizduoti reikiamą informaciją, susijusią su saulės elektrine. Kiekybiniai elektriniai saulės elektrinės duomenys bus matuojami pritaikant suprojektuotą ir pagamintą matavimo prietaisų (voltmetrų ir ampermetrų) plokštę. Šiems matavimams plokštė reikalinga tam, kad būtų galima matavimo prietaisų signalus suderinti su sąsajos plokšte ir galvaniskai (panaudojant diferencinius stiprintuvus) atskirti elektrinius signalus.

Saulės elektrinės efektyvumui didinti bus pritaikytas maksimalios galios sekimo algoritmas, panaudojant galios elektronikos prietaisą (galios maksimizatorių). Šis prietaisas ir bus pagrindinis šio darbo tiriamasis objektas.

Elektrinės struktūra turi būti tokia, kad būtų galima saulės elektrinę tirti dirbančią kartu su elektros energijos kaupikliu – akumuliatoriumi. Taip pat galima atlikti tyrimus, kai elektrinė dirba be energijos kaupiklio ir elektros energiją atiduoda į tinklą.

Kuriamos naujos saulės elektrinės struktūrinė schema pateikta 3.11 paveiksle.



3.11 pav. Naujos saulės elektrinės struktūrinė schema

Kad akumuliatorius būtų tinkamai eksploatuojamas numatyta į sistemą įdiegti akumuliatoriaus iškrovimo ir įkrovimo valdiklius. Įkroviklis įkraus akumuliatorių iki tam tikro leistino lygio, kurį nurodo gamintojas. Priešingu atveju, jei akumuliatorius perkraunamas, elektrolitas nuolat skaldomas į vandenilį ir deguonį, tokiu būdu mažėja akumuliatoriaus eksploatacijos laikotarpis.

Akumuliatoriaus iškroviklis naudojamas siekiant neiškrauti akumuliatoriaus daugiau negu galima. Priešingu atveju akumuliatoriuje vyksta negrįžtami procesai, mažėja akumuliatoriaus talpa, blogėja jo savybės, žymiai sutrumpėja eksploatacijos laikotarpis.

Jei akumuliatorius įkrautas ir prie jo nėra prijungta apkrova, tai įkrovimo valdiklis perteklinę energiją nukreipia į tinklo keitiklį, kuris ją atiduoda į fakulteto elektros tinklą.

3.3.3. Fotoelektrinės galios maksimizavimo įtaiso projektavimas senajai elektrinei

Šis galios maksimizatorius bus naudojamas senosios saulės elektrinės galiai maksimizuoti. Iš 3.4 paveikslo matyti, kad galios maksimumas yra maždaug ties 10 V įtampa. Kraunant akumuliatorių senosios elektrinės galia yra mažesnė negu galėtų būti. Taip yra todėl, kad nėra patenkinama maksimalios galios sąlyga. Šiuo atveju reikia šaltinio (fotomodulių bloko) galią pakeisti įtampos ir srovės atžvilgiu taip, kad maksimali galia būtų gaunama akumuliatoriaus krovimo ribose. Tam tikslui įtampą prie galios maksimumo reikia paaukštinti iki akumuliatoriaus (apkrovos) nominaliosios krovimo (darbo) įtampos.

Panaudojant „Boost“ tipo nuolatinės srovės keitiklį, priklausomai nuo užduoto impulso pločio, galima paaukštinti įtampą iki reikiamo lygio. „Boost“ keitiklio tipinė schema parodyta 2.4 paveiksle, išėjimo įtampos priklausomybė nuo impulso pločio D parodyta 2.4 formulėje.

Kad galios maksimizavimo prietaisas galėtų tinkamai dirbti, būtini šie komponentai:

- Valdymo dėsnį formuojanti dalis. Šiai daliai priklauso valdiklis. Valdiklio prigimtis gali būti dvejopa:

1. Analoginis valdiklis. Šis valdiklis sudarytas iš operacinių stiprintuvų pagal užduotą nuostato vertę ir suformuotą valdymo dėsnį (proporcinį, integruojantį ar diferencijuojantį) nustato išėjimo signalą, kuriuo vykdykliai valdo tam tikrus elementus (pvz., relės, tranzistoriai, variklis ir t.t.) norimam rezultatui gauti. Analoginių sistemų privalumas yra didesnis patikimumas (nėra programos užstrigimo), išėjimo ir įėjimo signalai turi be galo daug reikšmių (didelis tikslumas), maža kaina. Trūkumai: mažas atsparumas trikdžiams, kartais ilgai reikia atlikti derinimo darbus norimam valdymo dėsniui gauti, dažnai reikalingas papildomas neigiamos įtampos maitinimo šaltinis.

2. Programuojamas valdiklis arba loginiai segmentai. Programuojamame valdiklyje (mikrovaldiklyje) yra užprogramuotas valdymo algoritmas norimam rezultatui gauti. Priklausomai nuo pasirinkto mikrovaldiklio tipo jo lustą sudaro įtaisų periferija, kurioje yra: išėjimo prievadai (loginiai, impulso pločio modulatoriai, USART, I2C, USB sąsajos), EEPROM tipo atmintis, procesorius, taktinių impulsų generatorius, įėjimai (loginiai, analoginiai) ir t.t. Mikrovaldiklis turėdamas tokią periferiją su išoriniais įtaisais gali sudaryti valdymo ir grįžtamuosius ryšius, tokiu būdu suformuodamas vieningą sistemos valdymo dėsnį. Programuojamo valdiklio privalumai: valdymo algoritmas yra programa, kuria galima lengvai keisti norimam rezultatui gauti – lankstus valdymo dėsnių keitimas; daug išėjimo ir įėjimo prievadų, prie kurių galima prijungti daug įtaisų; lengvai galima atlikti aritmetinius veiksmus; sąlyginai nedidelė kaina. Trūkumai: dėl programos klaidų arba didelio elektromagnetinio užterštumo gali užstrigti mikrovaldiklio procesorius; dėl riboto procesoriaus registrų skilčių skaičiaus (8 arba 10 bitų) ribotas analoginių įėjimų, programos

kintamųjų, analoginių išėjimo signalų (impulso pločio moduliacijos signalo darbas su RC filtru) tikslumas; dėl nuosekliai vykdomos programos įėjimo prievadai gali būti nuskaityti pavėluotai, išėjimo signalų lygiai gali pasikeisti pavėluotai, todėl ne visada tinkami greitiems procesams registruoti.

- Vykdikliai – tai įtaisai vykdančys valdiklio nurodytas komandas. Tai gali būti įvairios mašinos, vienos energijos rūšį keičiančios kita (elektros varikliai, pneumatiniai cilindrai ir t.t.). Vykdikliai taip pat gali būti naudojami energijos srautams valdyti, kuomet reikia reguliuoti energijos kiekį (emiteriniu kartotuvu sumažinama ir stabilizuojama įtampa iki tam tikro lygio, pneumatiniu slėgio vožtuvu kontroliuojamas slėgis sistemoje, automobilio greičio ir jėgos momento keitimas panaudojant pavarų dėžę). Šie automatikos įtaisai tiesiogiai dalyvauja technologiniame procese.

- Grįžtamasis ryšys. Šis komponentas gali būti ir nenaudojamas, jeigu nereikia kontroliuoti išėjimo būsenos. Tačiau daugelis technologinių procesų reikalauja grįžtamojo ryšio norint gauti reikiamą sistemos darbo rezultatą. Grįžtamuoju ryšiu sistemos valdymo dalis gauna informaciją apie technologinio proceso būseną. Jeigu sistemos išėjimo būsena neatitinka nustatytos vertės, valdiklis per grįžtamąjį ryšį panaikina paklaidą. Paklaidos dažniausiai atsiranda dėl sistemoje vyraujančio „nulinio“ dreifo, kuris susidaro dėl pakitusių darbo sąlygų, sistemos komponentų dėvėjimosi, detalių įšilimo, trikdžių. Taip pat paklaidos atsiranda dėl tinkamai neįvertintos darbo mašinų judančių dalių inercijos, dinaminių savybių. Grįžtamąjį ryšį gali sudaryti įvairūs jutikliai (slėgio, temperatūros, greičio, srovės, įtampos, paviršiaus įtempimo, elektrinės talpos, magnetinio lauko ir kt.).

Galios maksimizavimo prietaisui sukurti reikės panaudoti visus išvardintus komponentus.

3.3.3.1. Grįžtamąjį ryšį formuojanti dalis

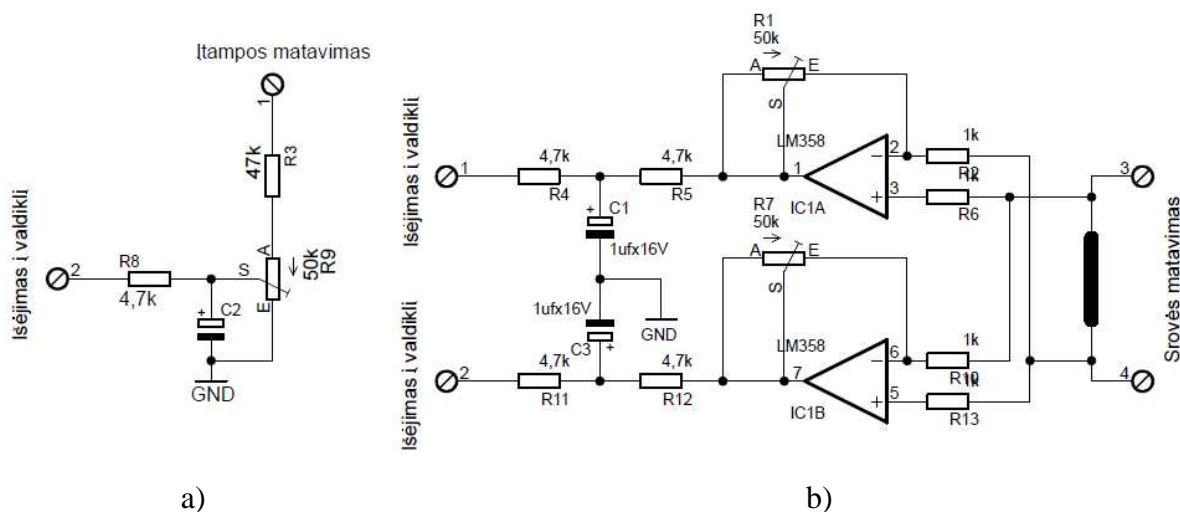
Norint nustatyti faktinę galią, kurią sukuria fotomodulis, reikės išmatuoti įtampos ir srovės vertes galios maksimizatoriaus įėjime.

Įtampai matuoti yra pasirinktas įtampos daliklis (žr. į 3.12 a) pav.), kuris įtampą sumažins iki atitinkamo su valdikliu suderinto lygio, matuojamo dydžio vertė yra paderinama R9 pažymėtu rezistoriumi. Taip pat panaudotas RC filtras, kurį sudaro rezistorius R8 ir kondensatorius C2. Filtras yra reikalingas trikdžių įtakai sumažinti matavimų metu. Potencialus trikdžių šaltinis sistemoje yra lauko tranzistorius, kuris dideliu dažniu dirbs impulsiniu režimu.

Srovės matavimas bus atliekamas panaudojant šuntą (žr. į 3.12. b) pav.). Gautas įtampos kritimas šunte bus sustiprinamas panaudojant diferencinį stiprintuvą IC1A ir paduodamas į valdiklį. Taip pat bus naudojamas diferencinis stiprintuvas IC1B iš akumulatoriaus imamai srovei matuoti, kai nėra saulės. Šio diferencinio stiprintuvo (IC1B) paskirtis – formuoti valdikliui grįžtamojo ryšio

srovės signalą, kai fotomodulių blokas negeneruoja elektros energijos ir kai reikia sumažinti energijos sąnaudas, jeigu projektuojamas prietaisas ima srovę iš akumuliatoriaus. Srovės perdavimo koeficientai paderinami R1 ir R7 paderinamaisiais rezistoriais. Trikdžio įtakai sumažinti naudojami RC filtrai, kuriuos sudaro R5 ir R12 rezistoriai bei C1 ir C3 kondensatoriai.

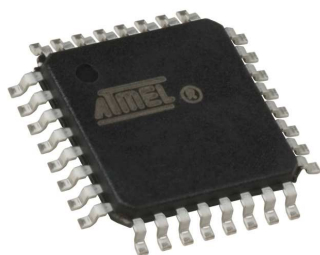
Filtrų laiko pastoviosios parinktos taip, kad gerai praleistų tik žemo dažnio arba nuolatinės įtampos signalus. Kadangi potencialus trikdžio generatorius – lauko tranzistorius, kuris generuos aukšto dažnio signalus (apie 15 kHz), tai toks filtras bus pakankamai efektyvus.



3.12 pav. Matavimo prietaisų grįžtamiems ryšiams sudaryti principinės elektrinės schemos: a) įtampos matavimui; b) srovės matavimui

3.3.3.2. Valdymo dėsnį formuojanti dalis

Valdymui pasirinktas mikrovaldiklis Atmega8. Šio įrenginio pagrindas – AVR šeimos mikrovaldiklis. Šis mikrovaldiklis turi: 8 kB EPROM programuojamą atmintį; 512 B EEPROM atminties; 1 kB SRAM operatyvinės atminties. Tai pat šis mikrovaldiklis turi 3 vidinius laikrodžius; 23 diskretinius įėjimus/išėjimus; UART sąsają; 10 bitų analoginį-skaitmeninį keitiklį (ASK); 3 PWM išėjimus ir kt.. Šios mikrovaldiklio įrenginio kūrimui pasirinktas SMD korpusas TQFP32 pavaizduotas 3.13 paveiksle.



3.13 pav. Mikrovaldiklio ATMEGA8 TQFP32 korpusas

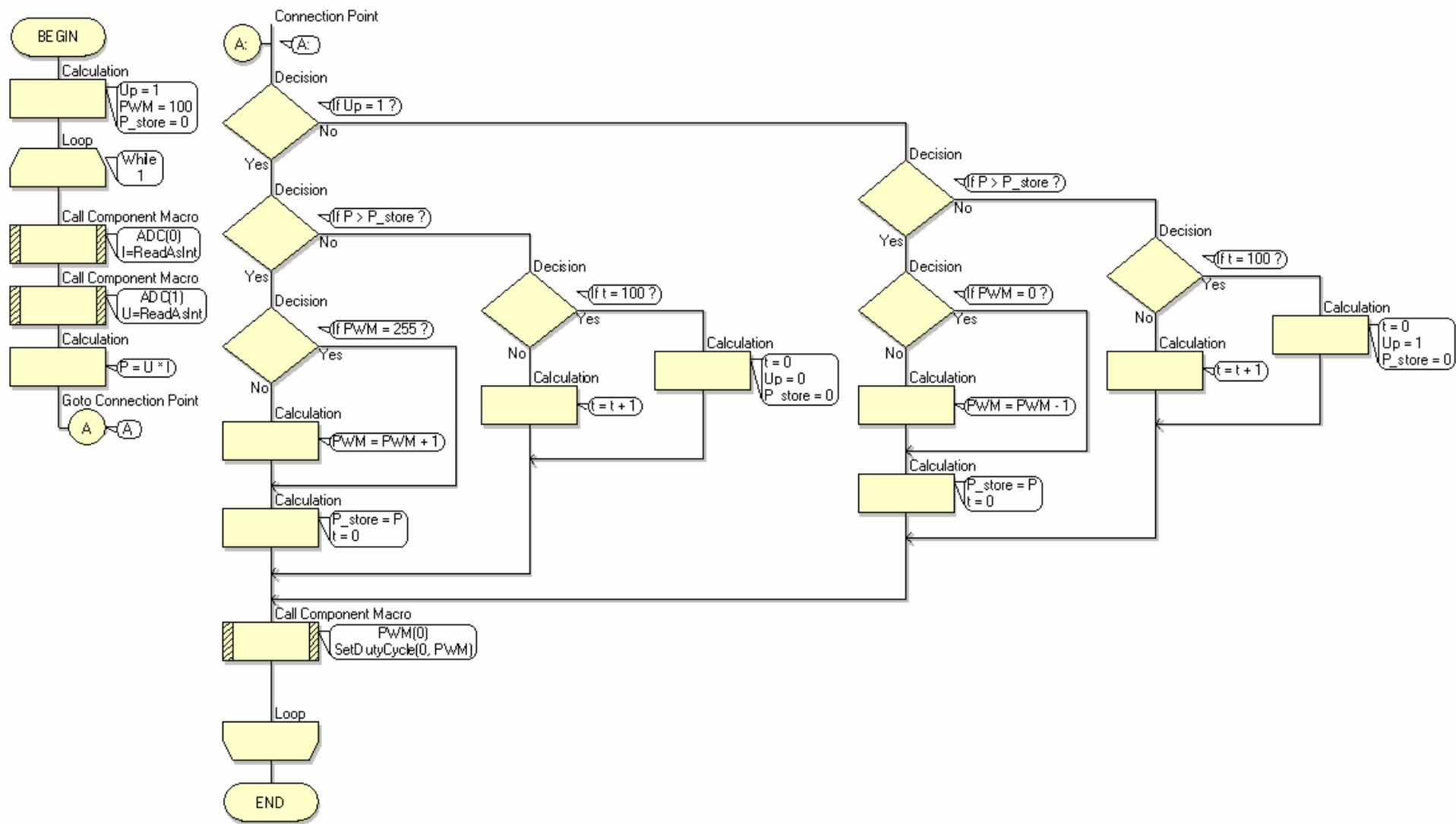
Reikalavimai galios maksimizavimo prietaiso valdymui (algoritmui):

- Pagal įėjimo signalus (įtampą ir srovę galios maksimizatoriaus įėjime) atlikti maksimalios galios paiešką fotomodulių voltamperinėje charakteristikoje.
- Nutraukti energijos tiekimą, jeigu prietaiso išėjime nėra prijungtos apkrovos.
- Kadangi prietaisas budėjimo būsenoje vartoja elektros energiją iš akumuliatoriaus (apkrovos), tai tokiaime režime (kai nevyksta elektros generavimas iš fotomodulių), prietaisas turi dirbti energijos taupymo režime.

Valdiklis išėjimuose turės tokius įtaisus:

- LCD ekranėlį duomenims išvesti realiu laiku, kuris atvaizduos sistemos įtampą, srovę, galią, impulso pločio vertę, energijos apskaitą vatvalandėmis (Wh).
- LCD ekranėlio apšvietimo valdymas. Ekranėlis turės būti pritemdomas, kai nevyksta elektros generavimas iš fotomodulių.
- Galios lauko tranzistorius, kurie atliks galios maksimizavimą fotomodulio galios charakteristiką suderinant su apkrovos charakteristika.

Dėl papildomų apsaugos, duomenų atvaizdavimo ir taupymo priemonių šio prietaiso valdymo algoritmas yra pakankamai ilgas ir sudėtingas. Todėl toliau rodoma tik ta algoritmo dalis, kuri bus atsakinga tik už maksimalios galios paiešką, reguliuojant lauko tranzistoriaus išėjime atidarymo impulso plotį. Algoritmo fragmentas pateiktas žemiau esančiame 3.14 paveiksle.



3.14 pav. Galios maksimizatoriaus pagrindinės programos algoritmas

Algoritmo pradžioje deklaruojamos pradinės kintamųjų vertės:

- Up – tai virtualus jungtukas, kurio pagalba padidinamas impulso plotis (jeigu $Up = 1$) arba sumažinamas (jeigu $Up = 0$), tai BOOLEAN tipo kintamasis, galintis įgauti tik dvi reikšmes 0 arba 1.
- PWM – tai kintamasis, nuo kurio tiesiogiai priklauso impulso pločio moduliacijos vertė. Tai BYTE tipo kintamasis, turintis 256 reikšmes. Taigi impulso pločio moduliacija galės įgauti 256 diskrečias reikšmes. PWM impulso pločio pradinė reikšmė parinkta, prognozuojant impulso pločio vertę, kuriai esant yra arti maksimalios galios taškas.
- P_store – tai kintamasis, į kuri bus išsaugojama praėjusio ciklo išmatuota galia. Galios argumentą būtina išsaugoti po kiekvieno ciklo pakeičiant impulso plotį, kad būtų galima palyginti su kitame cikle gaunama galia. Čia parinktas INTERNAL tipo kintamasis turintis 31250 reikšmes. Tokio tipo kintamasis pasirinktas atsižvelgiant į tai, kad galios P kintamasis gaunamas sudauginus du įtampos ir srovės signalus. Įtampos ir srovės signalai yra gaunami iš analoginio-skaitmeninio keitiklio (SAK), kuris turi 10 bitų skiriamąją gebą.

Toliau deklaravus pradines reikšmes, programa pereina dirbti į begalinį ciklą WHILE.

Pradžioje begalinio ciklo SAK keitikliu atliekami srovės I ir įtampos U matavimai. Toliau atliekama aritmetinė šių dydžių daugybos operacija ir apskaičiuojama grandinės galia P .

Pirmas begalinis ciklas daromas aklai, nežinant koks buvo prieš tai buvusio ciklo P_store argumentas, kadangi jis tada dar nebuvo žinomas.

Toliau palyginama esama išmatuota galia su prieš tai buvusio ciklo galia. Jeigu ji didesnė už prieš tai išmatuotą, vienu bitu padidinama impulso pločio vertė. Jeigu gaunamas atvirkščias rezultatas, tuomet daromas 100 ciklų vėlinimas, siekiant pakartotinai patikrinti, ar nėra matavimo klaidos dėl trikdžių. Jeigu po šimto ciklų gaunamas toks pat rezultatas, tuomet pakeičiamas argumentas Up į atvirkščią (jei buvo 0, tai tampa 1 arba atvirkščiai).

Pakeitus kintamojo Up reikšmę iš 1 į 0, impulso plotis yra mažinamas. Mažinimas atliekamas iki tol, kol buvusio prieš tai ciklo P_store galia tampa didesnė už esamą išmatuotą galią P . Tuomet Up kintamasis vėl pakeičiamas į 1 ir ciklas kartojasi.

Globalaus reguliavimo intervale atradus ekstremumą (maksimalios galios tašką), sistema pagal aprašytą algoritmą vis tikrina, ar nepasikeitė galios maksimumas į vieną ar kitą pusę. Dėl tokio nuolatinio tikrinimo, PWM impulso pločio kintamasis visada švytuoja nedideliame diapazone apie maksimalios galios tašką.

Toliau begalinio ciklo pabaigoje iškviečiama makro komanda PWM(0), kuri pasirinktame lusto prievade (mikroschemos kojėlėje) fiziškai generuoja kintamo impulso plotį pagal kintamojo PWM reikšmę.

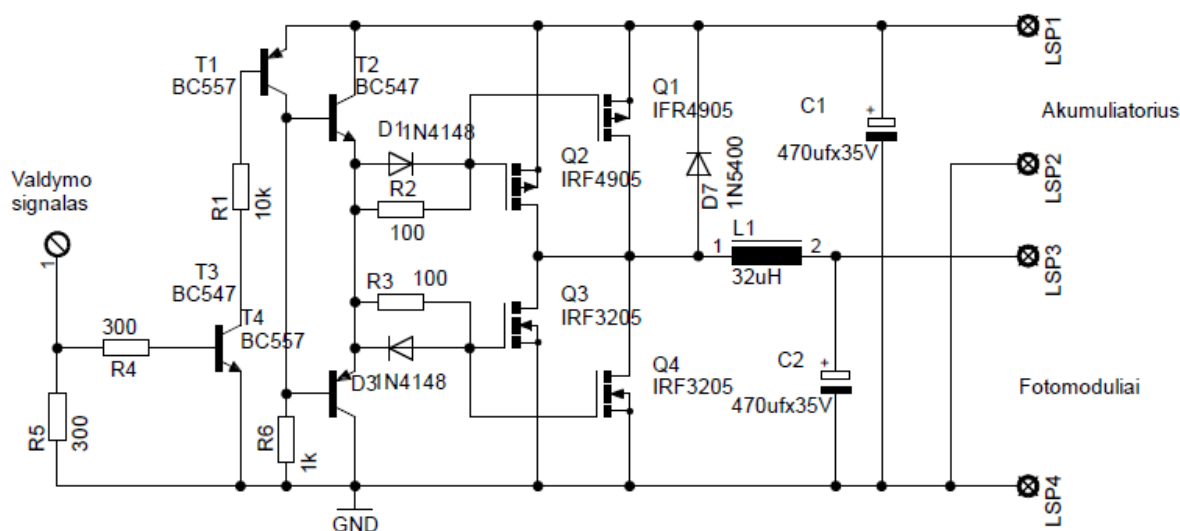
3.3.3.3. Sistemos poveikį formuojanti dalis

Sistemos poveikį formuos tipinis aukštinantysis (Boost tipo) nuolatinės įtampos keitiklis. Jo išėjimo įtampos valdymo dėsnį charakterizuoja 2.4 formulė. Kadangi senosios elektrinės fotomodulių įtampos maksimumas yra gaunamas esant mažesnei įtampai negu akumulatoriaus arba tinklo inverterio vardinės krovimo įtampos, tuomet žinant tokias energijos šaltinio ir apkrovos charakteristikas reikia įtampą aukštinti, siekiant gauti didesnę išėjimo galią.

Pagrindą Boost galios keitiklio sudaro du skirtingo laidumo (p – skylinio laidumo ir n elektroninio laidumo) kaskadiniu jungimu dirbantys lauko tranzistoriai. Šiems tranzistoriams valdymo impulsus siunčiamus mikrovaldiklio sustiprins T1-T4 tranzistoriai. Abiejų raktų (pirmas raktas Q1 ir Q2; antras Q3 ir Q4 lauko tranzistoriai) sklandžiam perjungimui suformuotas pertraukties „dead time“ laikas, per kurį vienas raktas yra sklandžiai uždaromas. Po to kai raktas uždarytas, sklandžiai įjungiamas kitas raktas. Jeigu nebūtų šios pertraukties, atsirastų laiko momentų, kuomet lauko tranzistoriai trumpai sujungtų maitinimo akumulatoriaus gnybtus ir sukeltų trumpuosius jungimus.

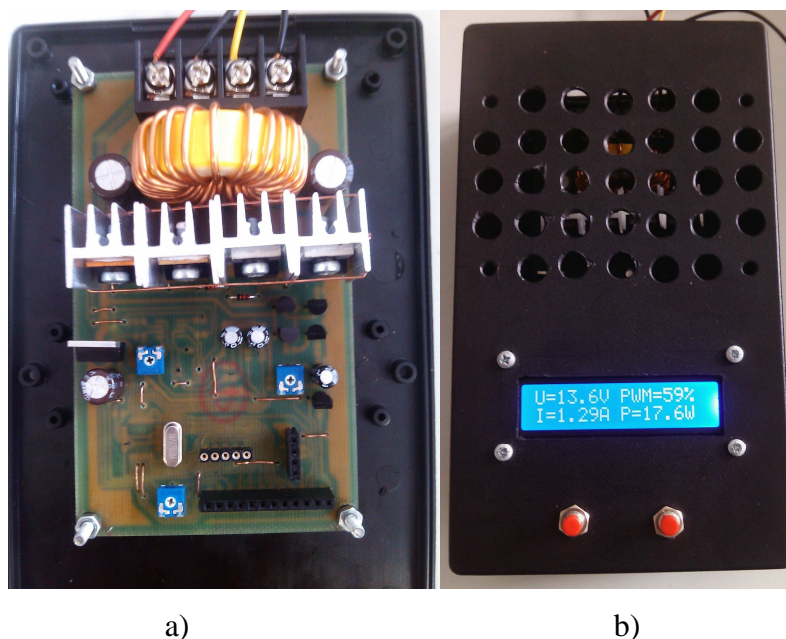
Diodui D7 lygiagrečiai įjungus du lauko tranzistorius gaunami dar mažesni nuostoliai, dar labiau sumažinamas įtampos kritimas ant D7 diodo, kuomet tranzistoriai Q1 ir Q2 užsidaro. Tokie rezultatai buvo gauti projektuojant įrenginį, jį išbandžius ant prototipinės maketavimo plokštės.

Suprojektuoto įtampą aukštinančio keitiklio principinė elektrinė schema pavaizduota 3.15 paveiksle.



3.15 pav. Suprojektuoto įtampą aukštinančio keitiklio principinė elektrinė schema

Įtampos aukštinimas vyksta droselio L1 pagalba. Priklausomai nuo impulso pločio, tranzistoriais Q3 ir Q4 droselis nuosekliai sujungiamas su fotomoduliais, droselyje kaupiasi srovė. Toliau Q3 ir Q4 tranzistoriams atsidarius, užsidaro Q1 ir Q2 tranzistoriai ir droselį su nuosekliai



3.17 pav. Įtampą aukštinantis galios maksimizatorius: prietaiso bendras vaizdas a) be gaubto; b) su gaubtu

Kadangi dėl komutacijos procesų lauko tranzistoriuose susidaro tam tikri energijos nuostoliai, tranzistoriams aušinti įtaisyti radiatoriai (žr. į 3.17 a) pav.).

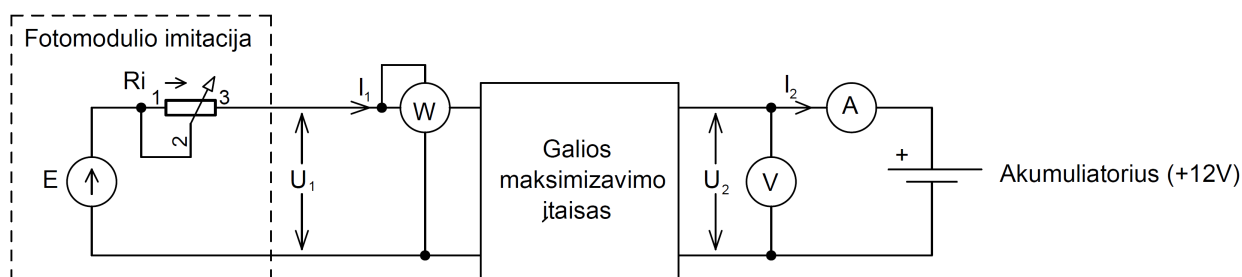
Dauguma sukurto prietaiso detalių yra paviršinio montažo (neturi lanksčių išvadų, o tik metalizuotas paviršiaus dalis prie kurių ir prilituojami), šios detalės yra sulituotos plokštės apatinėje pusėje. Paviršinis montažas pasirinktas dėl detalių mažų gabaritų, todėl prietaisas tapo kompaktiškesnis.

3.3.3.5. Įtampą aukštinančio galios maksimizatoriaus efektyvumo nustatymas

Dėl gamtoje besikeičiančios saulės spinduliuotės, realiomis sąlygomis tiksliai nustatyti tokių įrenginių efektyvumą yra pakankamai sudėtinga. Todėl buvo sudaryta imitacinė bandymo schema.

Keitiklio įėjime buvo imituotas fotomodulis, kurį sudarė maitinimo šaltinis su nuosekliai jungta varža.

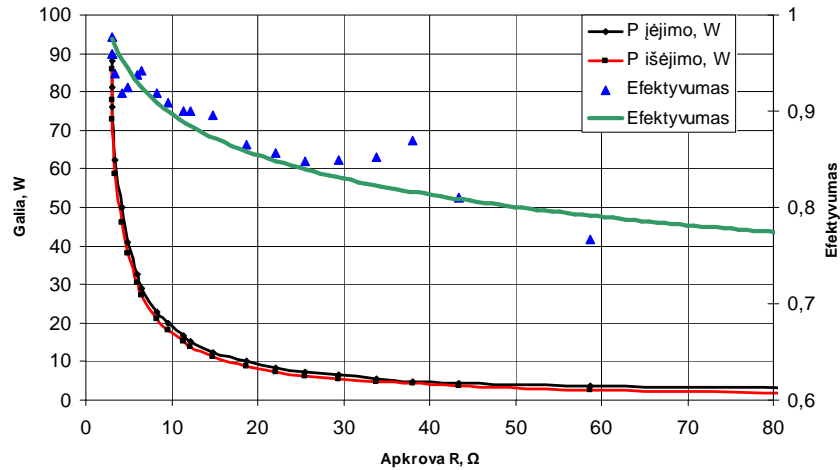
Keitiklio išėjime buvo imituota apkrova (akumulatorius). Bandymo principinė elektrinė schema parodyta žemiau esančiame 3.18 paveiksle.



3.18 pav. Aukštinančio įtampą galios maksimizatoriaus bandymo schema

Bandymų metu buvo imituotas saulės fotomodulis, kurio tuščiosios veikos įtampa yra lygi $U = 17,4V$. Ši „fotomodulį“ sudarė maitinimo šaltinis ir reostatas imituojantis vidinę fotomodulio varžą, kuri priklauso nuo silicio plokštelių apšviestumo.

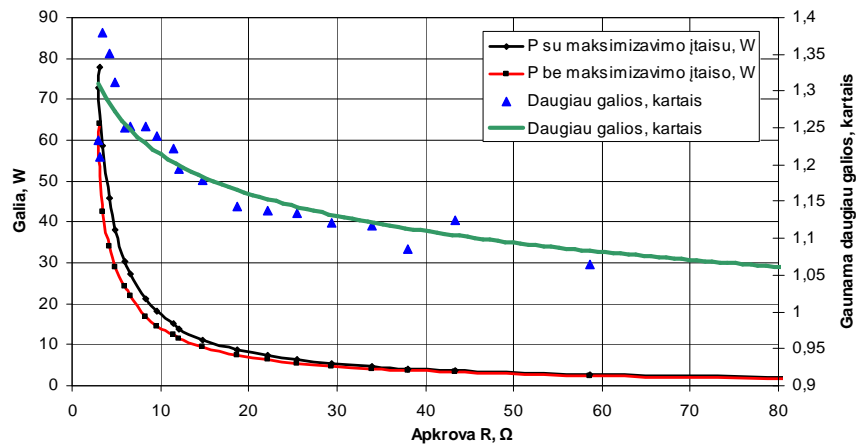
Šio bandymo metu buvo keičiama „fotomodulio“ vidinė varža ir stebimi vatmetro, voltmetro ir ampermetro rodmenys. Efektyvumo priklausomybė nuo apkrovos varžos pateikta 3.19 paveiksle.



3.19 pav. Galios maksimizavimo įtaiso efektyvumo priklausomybė nuo apkrovos

Iš 3.19 pav. grafiko matyti kad, efektyvumas didėja, didėjant maitinimo šaltinio galiai.

Toliau buvo atliktas bandymas grandinėje veikiant ir neveikiant galios maksimizavimo įtaisui. Tuo pačiu metu abiem atvejais buvo matuojami ir fiksuojami vatmetro, voltmetro, ampermetro duomenys. Šiuo bandymu buvo nustatyta, kiek daugiau galios pagamina įtaisas dirbantis maksimizavimo režimu lyginant gaunamą galia įtaisui nedirbant. Gauti duomenys pavaizduoti 3.20 paveiksle.



3.20 pav. Generuojamos galios skirtumo veikiant ir neveikiant galios maksimizatoriui priklausomybė nuo apkrovos

Kaip matyti iš priklausomybės, prietaisas generuoja daugiau galios dirbdamas maksimalios galios režimu. Didėjant sistemos galiai, generuojamos galios skirtumas didėja veikiant galios maksimizavimo režimui, ir jam neveikiant.

3.3.4. Fotelektrinės galios maksimizavimo įtaiso projektavimas naujai elektrinei

Šis galios maksimizavimo įtaisas projektuojamas 290 W fotomoduliui. Kadangi fotomodulio darbinės įtampos diapazonas yra gerokai didesnis (žr. 3.4 lentelę) už projektuojamos sistemos darbinę įtampą, tuomet gaunamą energiją iš šio fotomodulio reikės pakeisti taip, kad įtampa būtų priimtina kuriamajai sistemai. Tam tikslui įtampą reikės pažeminti iki tam tikro darbinio lygio, kuri tinkama akumuliatoriui krauti ir tinklo keitikliui (inverteriui) „Grid Tie“ prijungti.

Tam tikslui pasiekti, pasirinktas nuolatinės srovės impulsinis (BUCK tipo) žeminantysis įtampos keitiklis. Keitiklis turės pažeminti įtampą iki tam tikro lygio ir išpildyti maksimalios galios sąlygą, kad būtų gaunama maksimali galia iš šio fotomodulio.

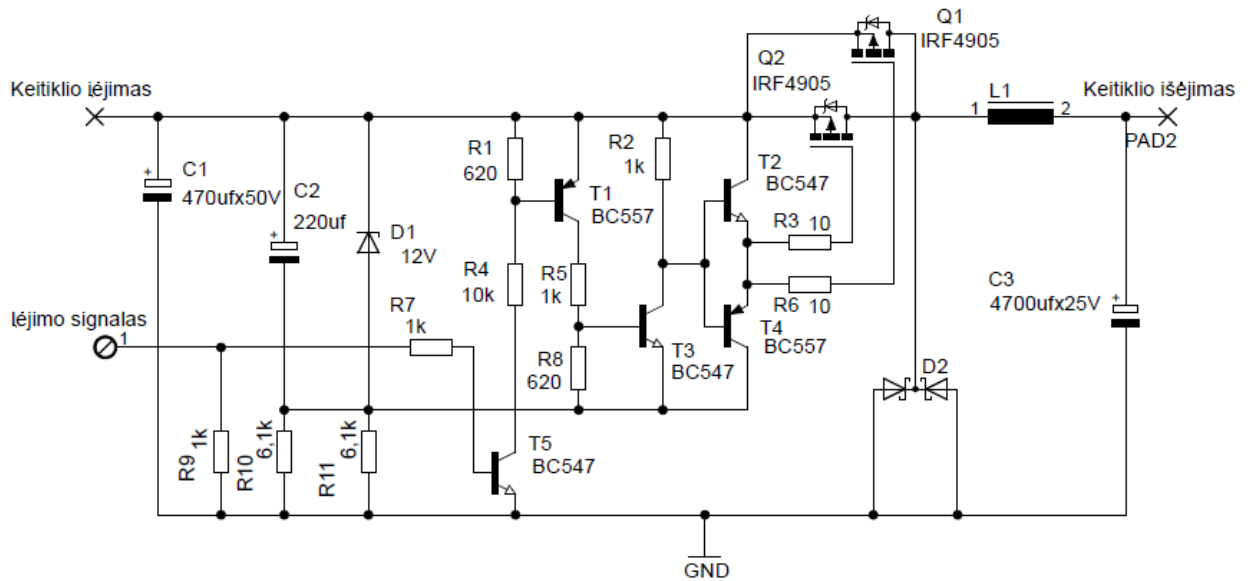
Šis prietaisas galios maksimumo ieškos pagal tokį pat algoritmą kaip ir įtampą aukštinantis keitiklis, t.y. pagal 3.14 pav. nurodytą algoritmą.

Šio prietaiso grandinių projektavimas atliktas remiantis 3.3.3 skyrelyje projektuotu galios maksimizatoriumi. Buvo pastebėta, kad energiją taupančios priemonės (rakto komutacijos išjungimas, ekranėlio šviesos prislopinimas) nėra efektyvūs, sutaupo labai nedidelę dalį energijos. Nustatyta, kad veikiant režime, kai fotomoduliai negeneruoja energijos, įtampą aukštinantis keitiklis savo grandinėms maitinti naudoja apie 40 mA srovę. Pereinant į taupymo režimą, prietaisas naudoja tik 20 mA srovę. Ši iškrovimo srovė yra labai maža, todėl kuriant žeminantįjį (BUCK tipo) įtampos keitiklį nėra pasirinkta kurti energijos taupymo režimo, tačiau pasirinkta naudoti įtaisus, kuriems reikia mažiau energijos tam pačiam rezultatui gauti, pvz.: pasirinkta įdiegti LCD ekranėlį be apšvietimo.

Kadangi grįžtamąjį ryšį formuojanti ir valdymo dalys yra panašios į prieš tai projektuoto galios maksimizatoriaus ir skirtumai yra neesminiai, todėl toliau bus aprašomas tik sistemos poveikį formuojančios dalies projektavimas.

3.3.4.1. Sistemos poveikį formuojanti dalis

Kuriamo prietaiso elektroninės grandinės yra panašios į impulsinio įtampą aukštinančio keitiklio grandines. Didžiąja dalimi išsiskiria vykdomoji dalis, kuri tiesiogiai atsakinga už įtampos žeminimą. Ši keitiklio dalis parodyta žemiau esančiame 3.21 paveiksle.



3.21 pav. Suprojektuoto įtampos žeminančio keitiklio principinė elektrinė schema

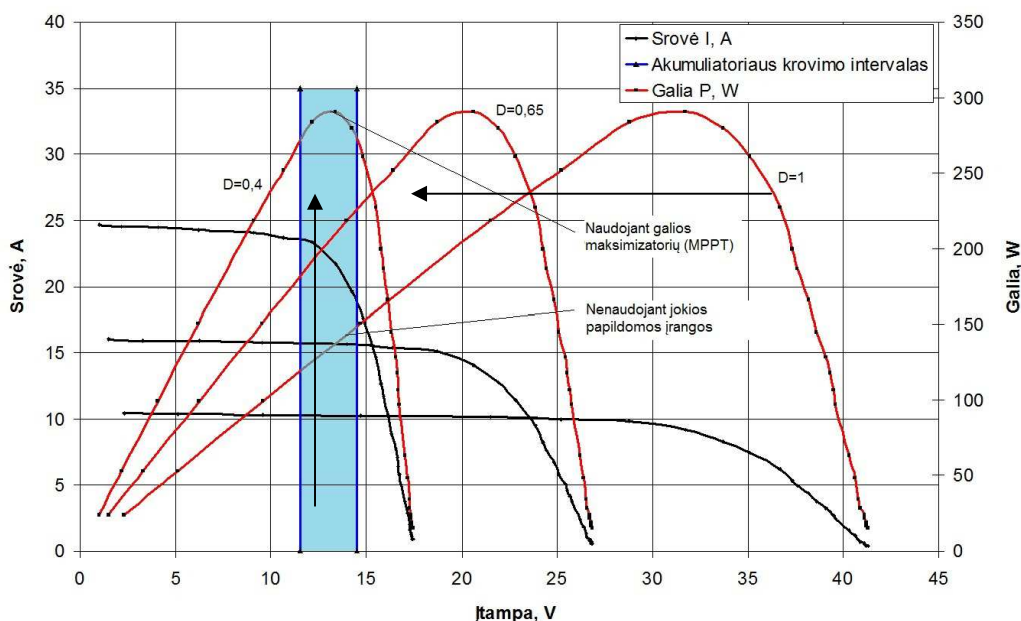
Į elektrinę schemą (galios grandinėje) integruoti du galingi lauko tranzistoriai Q1 ir Q2. Sujungiant juos lygiagrečiai gaunamas dar mažesnis įtampos kritimas ant tranzistoriaus galios grandinės gnybtų (santakos ir ištakos), taip dar labiau sumažinami galios nuostoliai tranzistoriuose. Šie tranzistoriai naudojami kaip raktai, kurie veikdami impulsiniame režime maitinimo šaltinio (fotomodulio) gnybtus sujungs su droseliu L1.

Kitas raktas yra sudarytas iš galingų Šotkio diodų D2. Šie diodai yra gaminami viename korpuse, turi viena bendrą gnybtą katodą. Įtampos kritimas tokia diode siekia tik 120 mV tekant vardinei srovei, todėl gaunami maži galios nuostoliai. Projektuojamoje grandinėje parinkti diodai, kurie gali praleisti po 20 A tiesioginę srovę.

Schemos veikimo principas: įėjimo (kintamojo impulso pločio) signalas paveikia tranzistoriaus T5 bazę ir jį uždaro. T5 tranzistoriaus kolektoriaus sukurta srovė uždaro T1 ir T3 tranzistorius. Tuomet įtampos kartotuvus T2 ir T4 uždaro Q1 ir Q2 lauko tranzistorius ir įėjimo įtampa prijungiama prie droselio L1. Tuomet ritėje kaupiama srovė, kraunamas kondensatorius C3. Nutraukus valdymo impulsą, lauko tranzistoriai Q1 ir Q2 atsidaro, tuomet droselis L1 atjungiamas nuo maitinimo šaltinio. Droselio magnetinis laukas dėl saviindukcijos palaiko srovę, kuri atidaro D2 Šotkio tipo diodus ir per juos užkrauna kondensatorių C3, kuris maitina apkrovą. Padavus impulsinį signalą dar kartą, ciklas kartojasi iš naujo.

Tokio tipo keitiklio išėjimo įtampa tiesiogiai priklauso nuo valdomojo signalo impulso pločio D (žr. į 2.3. formulę). Mažinant impulso plotį, mažinama įtampa išėjime iki tokio lygio, kol gaunama maksimali fotomodulio išėjimo galia. Keitiklis iškreipia maksimalios galios kreivę voltamperinėje charakteristikoje, pastumdamas galios piką į sistemos darbinės įtampos intervalą.

Galios maksimizavimo principas gali būti paaiškintas panaudojant analizinį metodą pavaizduotą žemiau esančiame 3.22 paveiksle.



3.22 pav. Maksimalios galios sekimo principas panaudojant „Buck“ keitiklį ir P&O maksimalios galios sekimo algoritmą

Natūrali fotomodulio charakteristika buvo išmatuota apytiksliai prie $1000\text{ W} / \text{m}^2$ saulės apšviestumo lygio. Ji parodyta $D=1$ kreivėje (žr. į 3.22 pav.), kai raktas sudarytas iš tranzistorių Q1 ir Q2 yra nuolat uždarytas (nėra formuojamas valdymo impulsas). Kaip matyti, akumulatoriaus krovimo intervale toks fotomodulis duoda apie 130 W galią tačiau fotomodulio maksimali galia prie tokio apšviestumo yra 290 W. Taip yra todėl, kad fotomodulis dirba kvazistabiliame srovės režime arba trumpojo jungimo režime, kada fotomodulio celėse (silicio plokštelėse) krenta didesnė galia negu atiduodama galia fotomodulio išėjime. Fotomodulio vidinė varža nėra suderinta su apkrovos varža. Tokia sistema dirba neefektyviai.

Toliau formuojant vis siauresnius valdymo impulsus, natūralioji charakteristika yra iškreipiama iki tokio lygio, kad fotomodulio galios maksimumas yra gaunamas sistemos darbiniam intervale (šiuo atveju impulso pločio faktorius $D=0,4$).

„Buck“ tipo galios įtampos keitiklis tiesiog transformuoja elektros energiją įtampos ir srovės atžvilgiu iki tokio lygio, kada elektros energijos šaltinio varža tampa lygi apkrovos varžai. Tuomet yra pasiekama maksimali galia darbiniam sistemos intervale (žr. į 2.2. formulę).

D faktorių, kuris apibūdina impulso plotį galima laikyti šio impulsinio įtampos keitiklio transformacijos koeficientu, kuris idealiuoju atveju keičia įėjimo elektros šaltinio parametrus pagal šias išraiškas išėjime:

- Įtampai:
$$U_{out} = U_{in} \cdot D \tag{3.2.}$$

- Srovei:
$$I_{out} = \frac{I_{in}}{D} \quad (3.3.)$$

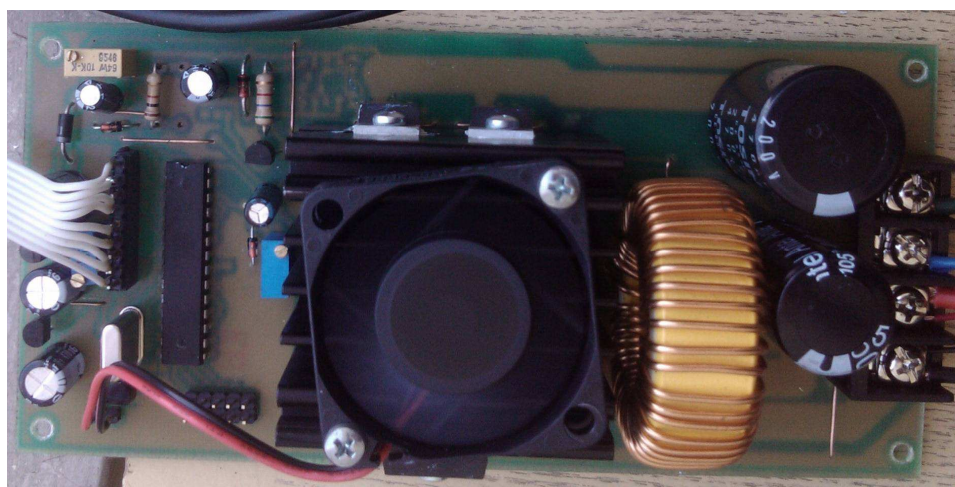
- Varžai:
$$R_{out} = R_{in} \cdot D^2 \quad (3.4.)$$

3.3.4.2. Suprojektuoto įtampą žeminančio galios maksimizatoriaus principinė elektrinė schema, bendras vaizdas

Šio prietaiso principinę elektrinę schemą sudaro valdymo grandinė, grįžtamojo ryšio grandinė ir vykdymo grandinė. Valdymui panaudotas Atmega8 mikrovaldiklis. Mikrovaldiklio luste yra panaudoti trys analoginiai įėjimai: įėjimo srovei, įtampai, išėjimo įtampai nuskaityti; diskretiniai išėjimai: ventiliatoriaus, LCD ekranėlio valdymui; impulsų pločio moduliatorius (PWM) žeminančio įtampos keitiklio raktų komutacijai atlikti. Principinė elektrinė schema pavaizduota 3.23 paveiksle.

Įėjimo ir išėjimo įtampų grįžtamuosius ryšius sudaro įtampų dalikliai R1, R5 ir R4, R14. Srovės grįžtamasis ryšys sudarytas iš šunto, kurio įtampos potencialas proporcingas tekančiai srovei sustiprinamas dvejais operaciniais stiprintuvais IC1A ir IC1B. Visų grįžtamųjų ryšių grandinėse įdiegti RC filtrai, skirti aukštų dažnių trikdžiams nuslopinti.

Projektuojant prietaiso spausdintinę plokštę, silpnųjų srovių grandinėse panaudotos paviršinio montažo (angl. SMD) detalės. Šių detalių gabaritai yra labai maži, todėl prietaisas tapo kompaktiškesnis, užima mažiau vietos. Išvadinės prietaiso detalės sumontuotos plokštės viršutinėje dalyje. Apatinėje dalyje sumontuotos paviršinio montažo detalės. Prietaiso bendras vaizdas pavaizduotas žemiau esančiame 3.24 paveiksle.



3.24 pav. Įtampą žeminančio galios optimizatoriaus bendras vaizdas

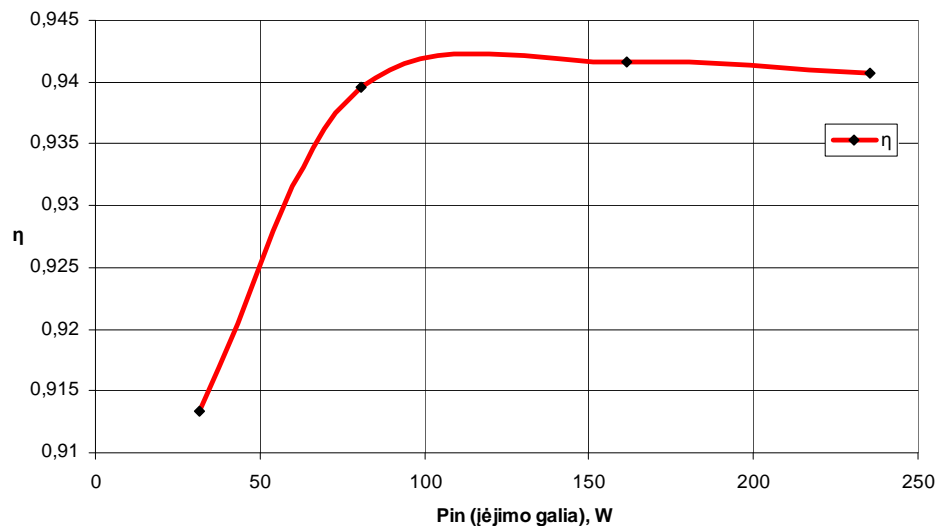
3.3.4.3. Žeminančio įtampą galios maksimizatoriaus efektyvumo nustatymas

Maksimizatoriaus efektyvumas nustatytas pagal 3.18 paveikslėlyje pavaizduotą bandymo schemą. Bandymo rezultatai parodyti žemiau esančioje 3.8 lentelėje, naudingumo koeficiento charakteristika parodyta žemiau esančiame 3.25 paveiksle.

3.8 lentelė

Žeminančio įtampą galios maksimizatoriaus naudingumo koeficiento nustatyto tyrimo duomenys

Pin, W	U _{out} , V	I _{out} , A	P _{out} , W	η
235,197	17,70	12,50	221,25	0,941
161,56	16,50	9,22	152,13	0,942
80,938	15,00	5,07	76,05	0,940
31,501	13,90	2,07	28,77	0,913



3.25 pav. Žeminančio įtampą galios maksimizatoriaus efektyvumo priklausomybė nuo įėjimo galios

Iš šių rezultatų galima padaryti išvadą, kad sukurtas prietaisas skirtas galiai maksimizuoti panaudojant impulsinį žeminantį įtampą keitiklį yra efektyvus. Taip yra todėl, kad raktiniu režimu dirbantys puslaidininkiai išskiria mažai nuostolių, nes atidarytoje būsenoje jie yra labai geri izoliatoriai, o uždarytoje būsenoje yra geri laidininkai. Taip pat dėl to, kad komutuojant raktus pereinamieji procesai sąlyginai yra labai trumpi, didelė raktų varža pereinamuosiuose procesuose būna labai mažą laiko dalį.

Norint dar labiau padidinti efektyvumą reiktų:

- Naudoti geresnės kokybės droselį, turinti kokybiškesnę ferito šerdį (sumažinamas sūkurinių srovių efektas), taip pat turintį storesnio ir geresnio laidumo varines apvijas.
- Sumažinti keitiklio naudojamą energiją skirtą savo reikmėms.
- Naudoti efektyvesnius puslaidininkinius raktus (galios lauko tranzistorius ir Šotkio diodus).
- Mažinti pereinamųjų procesų trukmę raktų komutacijos metu.

3.3.5. Įkrovimo ir iškrovimo įtaisų projektavimas

Šie du prietaisai yra reikalingi tam, kad akumulatorius būtų įkraunamas ir iškraunamas pagal nustatytus gamintojo reikalavimus.

Fotoelektrinėje yra naudojamas 12 V 100 Ah šarminis akumulatorius. Maksimali leistina akumulatoriaus įkrovimo ir iškrovimo srovė yra 30 A.

Akumulatorius yra visiškai įkrautas, jeigu krovimo įtampa pasiekia 14,5...15 V lygį. Visiškai iškrautas akumulatorius yra 10,5 V lygyje. Tokio akumulatoriaus pilnas iškrovimas gali

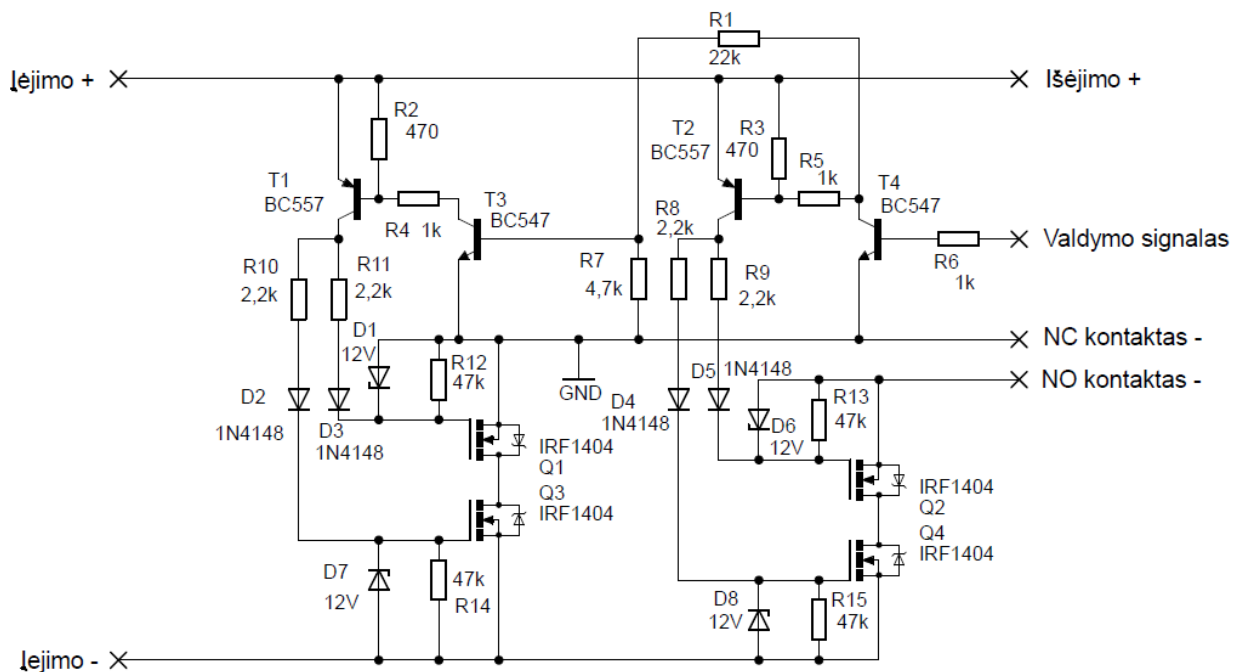
sukelti neatstatomus reiškinius, todėl prietaisas projektuojamas akumuliatorių iškrauti iki 11 V lygio.

3.3.5.1. Akumuliatoriaus įkrovimo valdiklio projektavimas

Projektuojamas akumuliatoriaus krovimo įtaisas yra specifinis gaminys, kuris saulės elektrinei suteiks galimybę automatiškai ir lanksčiai reguliuoti saulės elektros energijos srautą priklausomai nuo poreikio.

Įkrovimo įrenginys turi būti suprojektuotas taip, kad būtų galima abiejų saulės elektrinės fotomodulių blokų galią perjungti akumuliatoriui krauti arba elektros energija atiduoti į tinklą kaip parodyta 3.11 paveiksle.

Šis prietaisas turi turėti du nepriklausomus persijungiančius kontaktus. Esant vardinei elektrinei galiai, elektromagnetinės relės naudoti netinka dėl kontaktuose susidarančių ženklų nuostolių. Taip pat galingų relių solenoidui pritraukti išnaudojama pakankamai nemažas kiekis energijos. Kadangi kuriama elektrinė savosioms reikmėms turi imti kiek galima mažiau energijos, vietoj elektromagnetinių relių pasirinkta naudoti puslaidininkinius raktus. Tam tikslui buvo suprojektuota puslaidininkinė relė su persijungiančiais kontaktais. Pagrindinis raktas šioje schemoje yra lauko tranzistorius. Schema parodyta žemiau esančiame 3.26 paveiksle.



3.26 pav. Puslaidininkinės relės principinė elektrinė schema

Teigiamą potencialą turintis kontaktas yra bendras abiemis išėjimams (NO ir NC), perjunginėjamas neigiamą krūvį turintis kontaktas. Tokia specifika pasirinkta dėl raktų (lauko tranzistorių) specifikos valdymo teigiamąja įtampa.

Schemos veikimo principas: kai valdymo signalas yra žemo lygio, varžomis R1, R3, R5 tekanti srovė uždaro tranzistorių T3, kuris uždaro tranzistorių T1. Tranzistorius T1 uždaro lauko tranzistorius Q1 ir Q3, tuomet NC kontaktas sujungiamas su įėjimo „-“ kontaktu. Kai valdymo signalas yra aukšto lygio, T4 tranzistorius nutraukia T3 tranzistoriaus baze tekančią srovę ir per T1 tranzistorių atsidaro Q1 ir Q3 lauko tranzistoriai. T4 tranzistoriaus kolektoriaus srovė uždaro T2 tranzistorių, kuris uždaro Q2 ir Q4 tranzistorius, tuomet NO kontaktas įgauna įėjimo „-“ kontakto potencialą. Kai valdymo signalas pereina į žemą lygį, tuomet puslaidininkinės relės kontaktai persijungia į pradinę būseną.

Šis prietaisas turės dvi puslaidininkines relės. Viena relė komutuos lygiagrečiai senąjį bloką sujungtą su 290 W fotomoduliu. Kita relė komutuos 5x70 W fotomodulių bloką.

Įkrovimo įtaisas valdomas mikrovaldiklio Atmega8 pagrindu. Mikrovaldiklis seks šiuos parametrus:

- Akumuliatoriaus įkrovimo ir išsikrovimo lygius.
- Tinklo inverterio įėjimo gnybtų įtampos nenormaliems lygiams fiksuoti.

Nenormalus įtampos lygis yra, kai įtampa yra mažesnė nei inverterio darbinė įtampa. Taip pat įtampa, kuri yra didesnė nei darbinė inverterio įtampa. Mikrovaldiklis šiais atvejais įėjimo kontaktus sujungs dirbti su akumuliatoriumi, apsaugodamas galios maksimizatorių ir inverterį nuo nenormalių darbo sąlygų.

- Fiksuos faktą, ar srovė iš fotomodulių teka į apkrovas (akumuliatorių arba tinklo keitiklį) ar ne. Šis parametras reikalingas tada, kai akumuliatorius pakrautas ir į paskirstomąjį elektros tinklą reikia atiduoti perteklinę energiją. Kadangi naktį galios maksimizatoriai perjungiami dirbti su akumuliatoriumi, o ryte jei akumuliatorius yra įkrautas, juos vėl reikia perjungti dirbti su tinklo keitikliu. Tai daroma tam, kad sklandžiai pasileistų galios maksimizatoriai ir tinklo keitiklis.

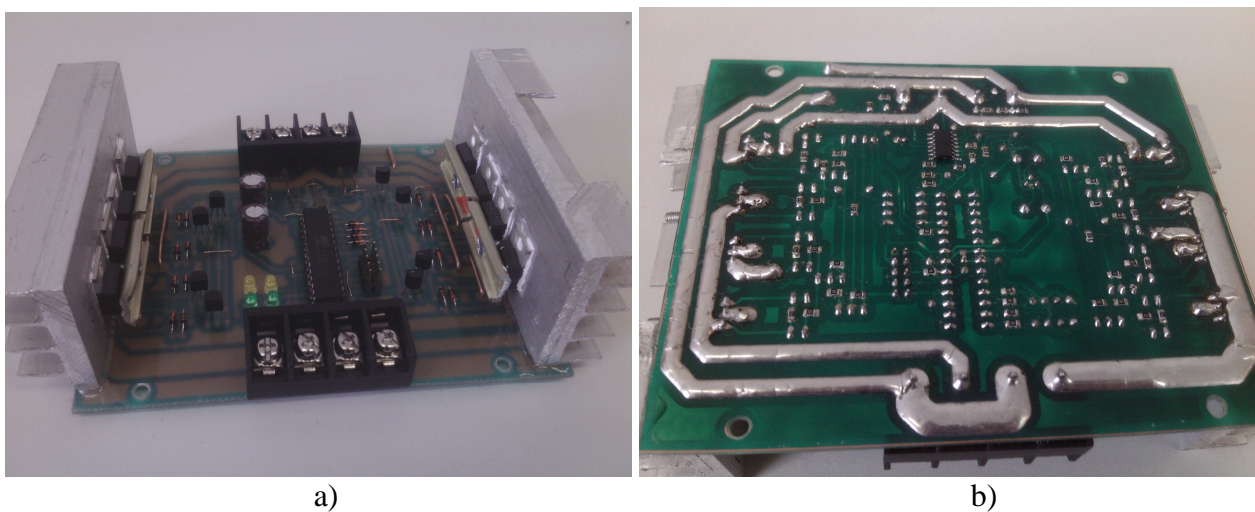
Mikrovaldiklio programos pagalba, akumuliatorius kraunamas sekant jo įtampos lygį. Akumuliatorius priklausomai nuo įkrovimo lygio gali būti kraunamas prie abiejų įėjimų prijungtais fotomoduliais. Akumuliatorius taip pat gali būti kraunamas vienu iš dviejų įėjimų. Krovimas pradedamas ir stabdomas pasiekus tam tikrus įtampos lygius. Kiekvienas puslaidininkinis kontaktas yra užprogramuotas persijungti prie tam tikro įtampos lygio panaudojant histerezės kilpą.

Pirmasis puslaidininkinis kontaktas prijungia fotomodulių bloką ir krauna akumuliatorių tada, kai įtampa sumažėja iki 11,5 V ir baigia jį krauti tada, kai akumuliatorius pasiekia 15 V įtampą. Šis blokas pilnai pakrauna akumuliatorių iki reikiamo lygio. Prie šios relės kontaktų bus prijungta senoji elektrinė ir 290 W fotomodulis.

Antrasis puslaidininkinis kontaktas prijungia fotomodulių bloką ir krauną akumuliatorių tada, kai įtampa sumažėja iki 11 V, ir baigia jį krauti tada, kai akumuliatorius pasiekia 13 V įtampą.

Šis blokas krovime dažniausiai dalyvauja tik tada, kai akumuliatorius yra intensyviai iškraunamas prijungus galingą apkrovą.

Puslaidininkinių relių kontaktų indikacijai panaudoti šviesos diodai. Žalios spalvos šviesos diodai rodo, kad kontaktai yra normaliai uždaroje būsenoje ir fotomodulių blokas yra prijungtas prie akumuliatoriaus. Kada žalia spalva mirksi, tuomet yra kraunamas akumuliatorius. Geltonos spalvos šviesos diodai rodo, kad relės kontaktai perjungti į normaliai atidarytą būseną. Tada prie įėjimų prijungtų fotomodulių bloką energija tiekiami į tinklo keitiklį. Įkrovimo reguliatoriaus bendras vaizdas parodytas žemiau esančiame 3.27 paveiksle.



3.27 pav. Įkrovimo reguliatoriaus bendras vaizdas: a) viršutinė dalis; b) apatinė dalis

3.3.5.2. Akumuliatoriaus iškrovimo valdiklio projektavimas

Šio valdiklio paskirtis – atjungti apkrovą nuo saulės elektrinės, jeigu akumuliatorius išsikrovė iki tam tikro užduoto lygio.

Valdiklį sudaro PIC12F675 mikrovaldiklis. Programa mikrovaldiklyje nuskaityta akumuliatoriaus įtampą, ir pagal įtampos lygį sprendžia, kada apkrovą reikia atjungti.

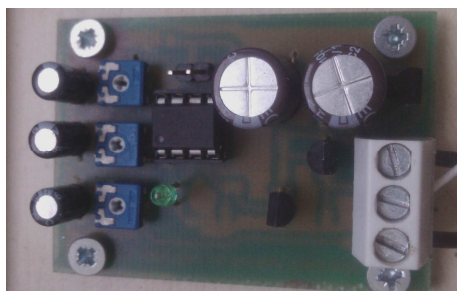
Nuostato vertės nustatomos trimis paderinamaisiais rezistoriais (žr. į 3.28 pav. mėlynos spalvos paderinami rezistoriai iš apačios į viršų):

1. Nustato įtampos lygį per matavimo skalę. Nuo 0 V iki aktualios darbinės įtampos.
2. Nustato minimalią leistiną įtampą. Pasiėkus tokią įtampą, kuri yra nustatyta, valdiklis atjungs apkrovą nuo maitinimo šaltinio.
3. Nustato maksimalią įtampą. Kurią pasiekus, valdiklis prijungia apkrovą prie maitinimo šaltinio.

Veikimo indikacijai panaudotas žalias šviesos diodas, kurio funkcijos yra:

- Darbo būvių indikacija. Kai apkrova sujungta su maitinimo šaltiniu, lemputė nuolat dega. Atjungus apkrovą nuo maitinimo šaltinio, lemputė užgesa.
- Kalibravimo indikacija. Kalibravimas atliekamas trumpai sujungus tam tikrus plokštėje esančius kontaktus ir mažinant arba didinant maitinimo šaltinio įtampą. Lemputė skirta įjungimo ir išjungimo įtampų lygiams nustatyti. Jeigu lemputė nedega, tuomet maitinimo šaltinio įtampa yra darbiniam diapazone (tarp įjungimo ir išjungimo nustatytų lygių). Jeigu lemputė nuolat dega, tai klaidingai nustatytas minimalus ir maksimalus lygiai (minimalios įtampos lygis yra nustatytas didesnis už maksimalų įtampos lygį). Jeigu lemputė mirksi 1/3 degimo laiko, tai pasiektas arba peržengtas apkrovos atjungimo nuo maitinimo šaltinio suveikimo taškas. Jeigu lemputė mirksi 2/3 degimo laiko, tai pasiektas arba peržengtas apkrovos prijungimo prie maitinimo šaltinio suveikimo taškas. Baigus kalibravimą, trumpikis yra nuimamas nuo kalibravimo aktyvuojančių kontaktų.

Bendras iškrovimo valdiklio vaizdas parodytas žemiau esančiame paveiksle.



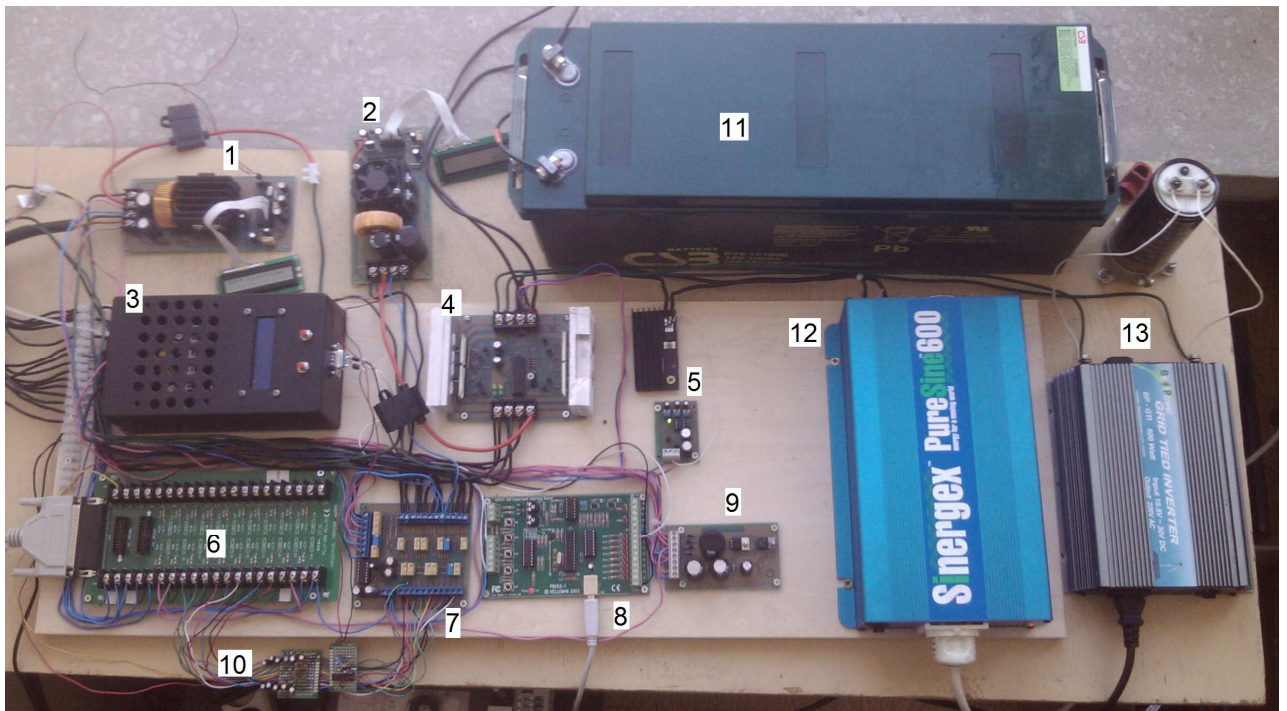
3.28 pav. Iškrovimo valdiklio bendras vaizdas

3.3.6. Suprojektuotos, realizuotos elektrinės bendras vaizdas

Įsigijus šiuolaikinio tipo fotomodulius ir suprojektavus modernią elektros sistemos įrangą, labai praplėstos elektrinės galimybės ir techninis potencialas lyginant su prieš tai buvusia įranga.

Kadangi elektrinės galia nesiekia 1 kW, tai tokia elektrinė yra priskiriama mikroelektrinių klasei. Labiausiai ši elektrinė skirta moksliniams tyrimams ir studijoms. Konkrečiai Saulės elektrinės elektrinių grandinių tyrimai ir analizė, gerinant elektrinės kiekybinius ir kokybinius parametrus.

Bendras saulės elektrinės elektros, matavimų ir valdymo mazgo vaizdas parodytas žemiau esančiame paveiksle.



3.29 pav. Bendras saulės elektrinės elektros energijos, matavimų ir valdymo mazgo vaizdas. 1 – Buck galios maksimizatorius #1; 2 – Buck galios maksimizatorius #2; 3 – Boost galios maksimizatorius; 4 – įkrovimo valdiklis; 5 – iškrovimo valdiklis; 6 – sąsajos plokštė su PC; 7 – matavimų (voltmetrų, ampermetrų) plokštė; 8 - valdymo plokštė; 9 – maitinimo šaltinis; 10 - elektrinių signalų filtras; 11 – akumuliatorius; 12 – autonominis keitiklis; 13 – tinklo keitiklis.

Reikia pažymėti, kad galios maksimizatorius paveiksle pažymėtas 2 numeriu atsirado po tyrimų, kurie parodė, kad 5x70 W fotomodulių blokas dirbo neefektyviai, Todėl buvo imtasi priemonių efektyvumui pagerinti.

4. TIRIAMOJI DALIS

Šioje darbo dalyje pateikiami galios maksimizatorių, suprojektuotos elektrinės kiekybinių (galios, srovės, energijos) ir kokybinių (naudingumo koeficientų) tyrimo rezultatai.

4.1. Galios maksimizavimo įtaisų įtaka fotoelektrinės energetiniam efektyvumui

Tam, kad energetinis elektrinės potencialas būtų išnaudojamas, reikia, kad fotoelektrinė dirbtų suderintuoju režimu. Tai leistų padaryti į sistemą įjungti suprojektuoti ir pagaminti galios maksimizavimo įtaisai.

Šis tyrimas atliekamas siekiant išsiaiškinti, kiek galios maksimizatoriai yra efektyvūs didinant saulės elektrinės kiekybinį rodiklį – galią ir kokybinį rodiklį – naudingumo koeficientą.

Šis tyrimas buvo atliktas panaudojant visus fotomodulių blokų galios maksimizatorius, jiems dirbant visais galimais darbo režimais:

- Saulės fotomodulių blokai su galios maksimizatoriais prijungti prie akumulatoriaus ir jį krauna.
- Saulės fotomodulių blokai su galios maksimizatoriais prijungti prie tinklo keitiklio ir pagaminta elektros energiją perduoda į Technologijos fakulteto elektros tinklą.

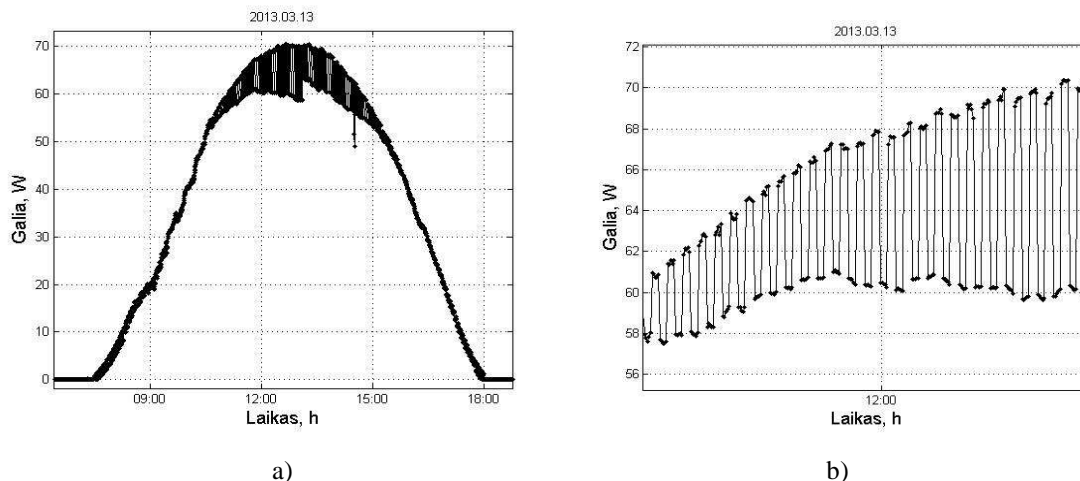
Abejais minėtais atvejais galios maksimizatorių darbo sąlygos bus skirtingos. Esant jiems prijungtiems prie akumulatoriaus, apkrovos charakteristika yra stabili, todėl iš imtuvo pusės mažiau tikėtini triukšmai bei įtampos svyravimai dėl pasikeitusios imtuvo apkrovos. Veikiant galios maksimizatoriui prijungtam prie tinklo, imtuvas generuoja nepageidautinas srovės pulsacijas, kurios natūraliai atsiranda dėl tinklo keitiklio technologinio proceso nuolatinę įtampą verčiant kintamąją.

4.1.1. 8x10 W bloko aukštinančiojo įtampą „Boost“ galios maksimizatoriaus tyrimas

Tyrimas atliktas naudojant saulės elektrinės monitoringo sistemą ir suprojektuotą elektrinių prietaisų (voltmetrų-ampermetrų) plokštę, saulės elektrinės-kompiuterio sąsajos plokštę (žr. į 3.29 pav.) ir „Matlab“ programinį paketą. „Matlab“ programa atliekamas monitoringo signalų apdorojimas, išsaugojimas, atvaizdavimas, analizė.

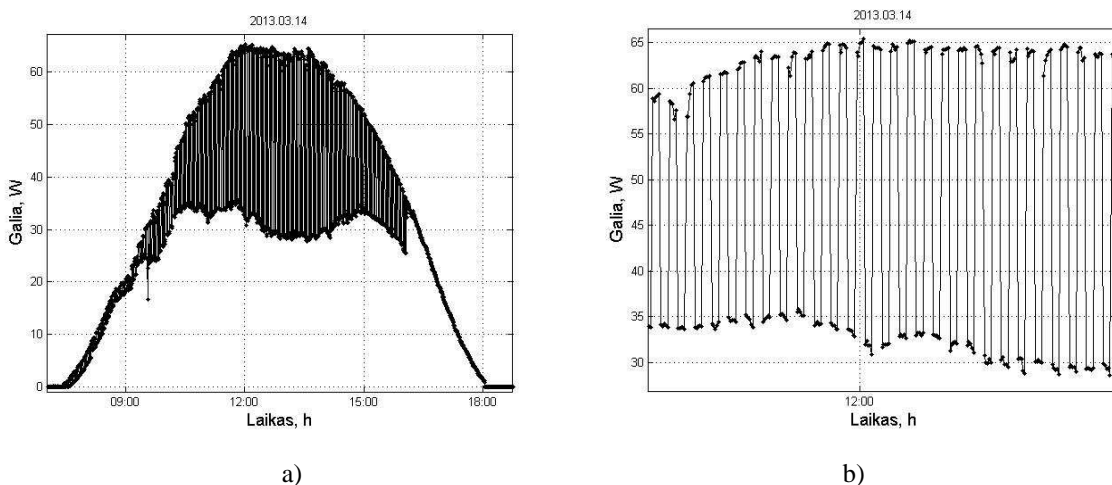
Tyrimams pasirinktos saulėtos, giedros dienos siekiant išvengti trikdžių (debesų, lietaus). Tai pat pasirinktos dvi iš eilės einančios dienos, kad saulės apšvieta būtų apytikriai vienoda.

Atliktas OFF/ON testas, kuriame kas 80 sekundžių buvo įjungiamas ir išjungiamas galios maksimizavimo režimas, kai prietaisas prijungtas prie akumulatoriaus. Laikinėje diagramoje gautos momentinės galios verčių skirtumas pavaizduotas žemiau esančiuose 4.1 a) ir b) paveiksluose.



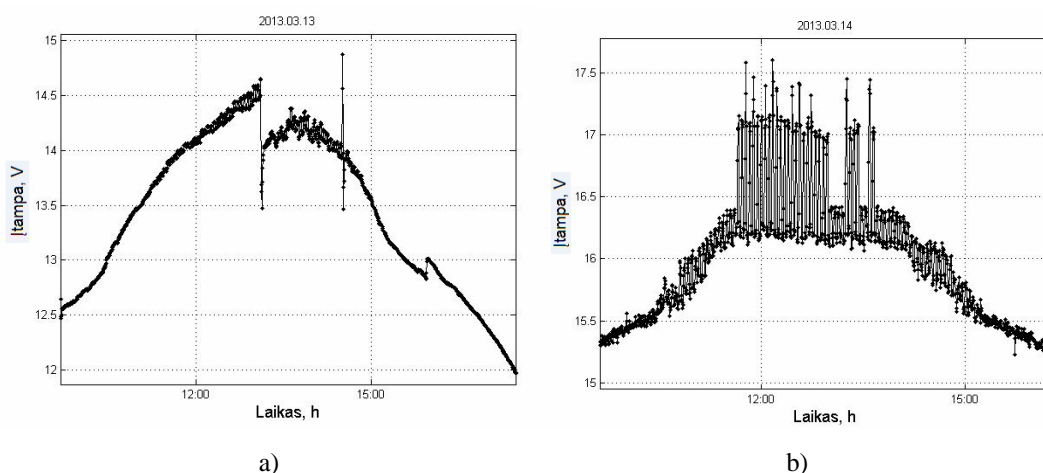
4.1 pav. 8x10 W fotomodulių bloko galios maksimizatoriaus bandymas „OFF-ON“ režimu, kai apkrova akumuliatorius: a) galios priklausomybė šviesiuoju paros metu; b) galios skirtumai ties 12 h.

Tai pat OFF/ON testas atliktas kas 80 sekundžių įjungiant ir išjungiant galios maksimizavimo režimą, kai prietaisas prijungtas prie tinklo keitiklio. Gautos laikinėje diagramoje momentinės galios verčių skirtumas pavaizduotas žemiau esančiuose 4.2 a) ir b) paveiksluose.



4.2 pav. 8x10 W fotomodulių bloko galios maksimizatoriaus bandymas „OFF-ON“ režimu, kai apkrova – tinklo keitiklis: a) galios priklausomybė šviesiuoju paros metu; b) galios skirtumai ties 12 h.

Iš gautų rezultatų matyti, kad galios optimizatorius veikia efektyviai abejais atvejais. Maksimizatoriui veikiant su tinklo inverteriu, gaunamas didesnis galios maksimizavimo efektas. Taip yra todėl, kad tinklo keitiklio darbinė įtampa yra didesnė už akumuliatoriaus darbinę įtampą, ir norint pasiekti maksimalią galią, reikia labiau iškreipti fotomodulio natūralią charakteristiką, kuri pavaizduota 3.4 paveiksle. Įtampų momentinės vertės, kai apkrova akumuliatorius arba tinklo keitiklis pavaizduota žemiau esančiame 4.3 paveiksle.



4.3 pav. 8x10W fotomodulių bloko išėjimo įtampos momentinės vertės, kai apkrova: a) akumuliatorius; b) tinklo keitiklis

Kadangi fotomodulio maksimalios galios išėjimo įtampa yra 9,85 V (iš bandymo rezultatų 3.2 lentelės), o sistemos darbinė įtampa paprastai didesnė kaip 12 V, tai nevykdant galios maksimizavimo, suderintojo režimo sąlyga nėra patenkinama. Tačiau panaudojus galios maksimizatorių, kuris įtampą paaukština iki tokio taško, kad būtų pasiekta suderintojo režimo sąlyga, gaunama tuo laiko momentu didžiausia galia.

Kai prie sistemos prijungtas akumuliatorius (žr. į 4.3 a) pav.), galios maksimizavimo efektas galiai didinti yra sąlyginai nedidelis dėl nedidelio įtampos skirtumo tarp elektros sistemos ir fotomodulių maksimalios galios įtampos (žr. į 4.1 pav.), nes maksimaliai galiai gauti įtampą paaukštinti reikia nežymiai. Tačiau, kai galios maksimizatorius su fotomoduliais dirba prijungti prie tinklo keitiklio (žr. į 4.3. b) pav.), sistemos darbinė įtampa yra gerokai didesnė nei fotomodulio maksimalios galios įtampa, todėl galios optimizatoriaus efektas didinant sistemos galią yra didesnis (žr. į 4.2 pav.). Šiuo atveju reikia labiau paaukštinti įėjimo įtampą ir taip ją suderinti su apkrova, kad būtų galima patenkinti maksimalios galios perdavimo sąlygą.

Kaip matyti iš rezultatų, dirbant blokui su akumuliatoriumi, galios skirtumas nenaudojant ir naudojant galios maksimizatorių gaunamas maždaug iki 10 W, o tai yra maždaug apie 17 % daugiau galios. Dirbant blokui su tinklo keitikliu, galios skirtumas nenaudojant galios maksimizatoriaus ir jį naudojant gaunamas maždaug iki 36 W. Tai yra panaudojus galios

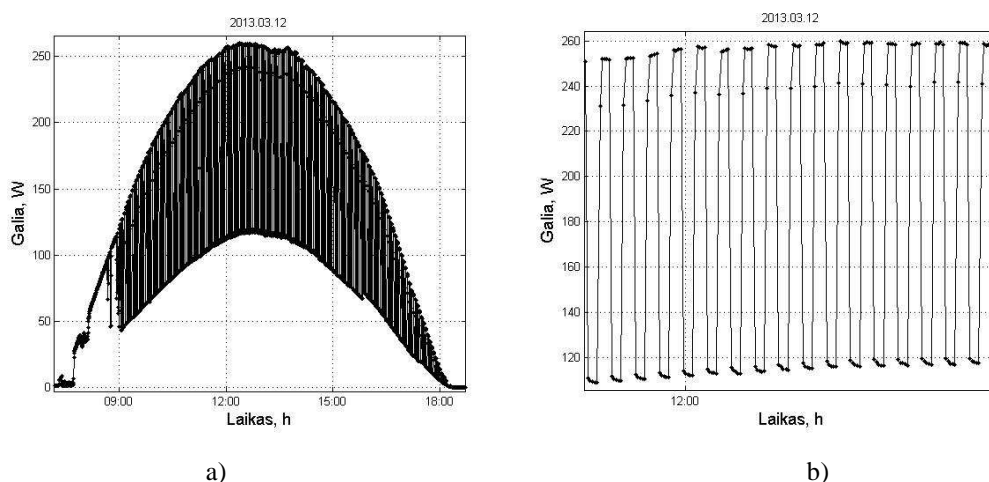
maksimizatorių gaunama apie 124% (daugiau nei 2 kartus) daugiau galios. Atlikus šį tyrimą galima daryti išvadas:

- Galios maksimizatorius lanksčiai pritaiko fotomodulių bloką dirbti su sistema maksimalios galios režimu, nepriklausomai nuo sistemos darbinės įtampos, į fotomodulio paviršių krentančios saulės spinduliuotės lygio, apkrovos pasikeitimų.
- Galios maksimizatoriaus efektas sistemos efektyvumui didinti yra akivaizdus, todėl jo naudojimas sistemoje turi būti taikytinas.
- Galios optimizatoriaus naudingumo koeficientas $\eta = 0,94$ (žr. į 3.19. pav.), jame yra prarandama dalis gaunamos iš saulės energijos, tačiau suderinus sistemą dirbti maksimalios galios režimu, gaunama didesnė galia kompensuoja nuostolių galią.

4.1.2. 290 W įtampą žeminančio bloko galios maksimizatoriaus tyrimas

Tyrimas atliktas vadovaujantis tokiomis pat taisyklėmis, kurios nurodytos 4.1.1. skyrelyje atliktame tyrime.

Atliktas OFF/ON testas, kuriame kas 80 sekundžių buvo įjungiamas ir išjungiamas galios maksimizavimo režimas, kai prietaisas prijungtas prie akumuliatoriaus. Gautos laikinėje diagramoje momentinės galios verčių skirtumas pavaizduotas žemiau esančiuose 4.4 a) ir b) paveiksluose.



4.4 pav. 290 W bloko galios maksimizatoriaus bandymas „OFF-ON“ režimu, kai apkrova – tinklo keitiklis:
a) galios priklausomybė šviesiuoju paros metu; b) galios skirtumai ties 12 h

Iš gautų rezultatų matyti, kad galios maksimizatorius veikia efektyviai. Nenaudojant galios maksimizavimo efekto, 290 W fotomodulio blokas vidurdienį generuoja apytiksliai tik apie 120 W galią. Panaudojus maksimalios galios sekimo efektą, šio bloko galia yra padidinama net iki 255 W, o tai yra net 135 W arba 112,5 % daugiau galios. Gautas toks didelis galių skirtumas yra

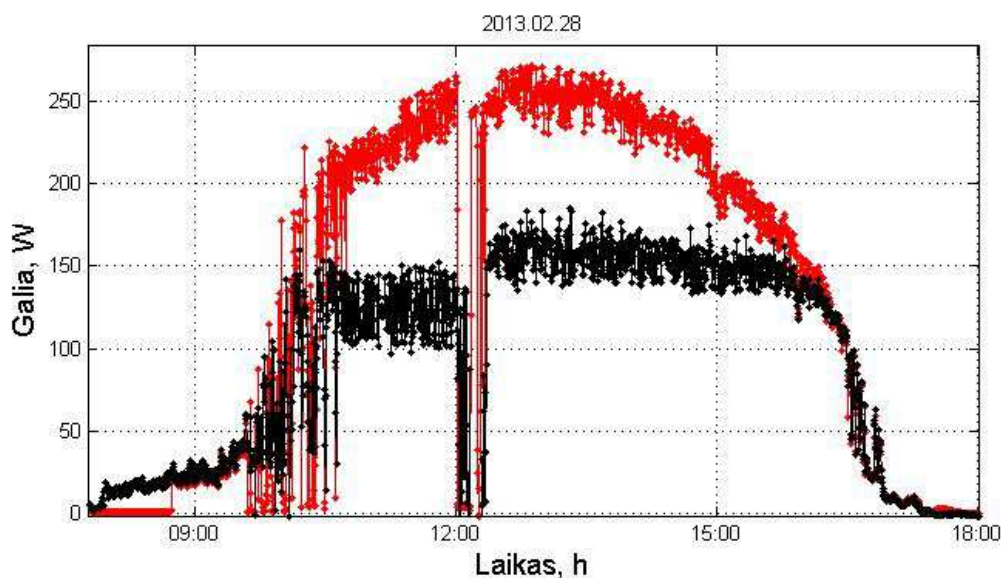
paiškinamas 3.22 paveiksle atlikta analize, keičiant žeminančio keitiklių valdomųjų raktų impulso plotį, ir gaunant išėjime reikiamos įtampos ir srovės vertes maksimalios galios sąlygai patenkinti.

Tokią didelį galios maksimizatoriaus efektyvumą lėmė tai, kad fotomodulio maksimalios galios įtampa (žr. į 3.4 lentelę) yra gerokai didesnė už sistemos darbinę įtampą. Prijungus prie sistemos (akumulatoriaus) fotomodulį, jis dirba kvazistabiliame srovės režime (trumpojo jungimo režime) ir jo darbinė įtampa yra gerokai mažesnė nei maksimalios galios įtampa, o srovė trumpojo jungimo yra artima maksimalios galios srovei, todėl gaunama žymiai mažesnė galia dirbant blokui nesuderintame režime.

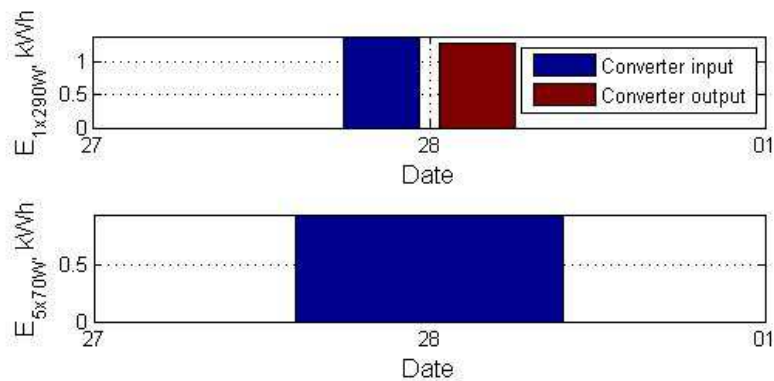
4.1.3. 5x70 W bloko efektyvumo gerinimo tyrimas

Šis blokas turintis penkis GT-70PCX polikristalinius fotomodulius per įkrovos valdiklį gali būti pagal poreikį prijungtas dirbti prie akumulatoriaus arba tinklo keitiklio (žr. į 3.11. pav.). Galios maksimizatoriaus šiam blokui nutarta neįdiegti, nes tinklo keitiklis, prie kurio jungiasi šis blokas, jau turi įdiegtą maksimalios galios sekimo funkciją.

Atlikus analizę buvo pastebėta, kad tinklo keitiklio, kai 5x70 W blokas dirba maždaug 150 W galios ruože, galia įsisotina ir nebedidėja (žr. 4.5 ir 4.6 pav.).



4.5 pav. 290 W ir 5x70 W blokų generuojamų momentinių galių palyginimas, kai blokai prijungti dirbti tiesiogiai prie tinklo keitiklio. Raudona – 290 W, juoda – 5x70 W momentinės galios



4.6 pav. 290 W ir 5x70 W blokų sugeneruotos elektros energijos per parą palyginimas, kai blokai prijungti dirbti tiesiogiai prie tinklo keitiklio. Viršuje – 290 W, apačioje – 5x70 W blokų pagaminta elektros energija

Nors 5x70 W blokas galingesnis už 290 W bloką, tačiau pagamina mažiau energijos. Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad tinklo inverterio normalaus darbo diapazonas yra nuo 13 V iki 19 V. Dirbant 5x70 W blokui 150 W galia, ant tinklo inverterio gnybtų įtampa siekdavo vos 14 V, o esant tokiai įtampai tinklo inverterio maksimalios galios sekimas tam tikrame intervale (nuo 13 V iki 19 V) yra pačiame krašte ir daugiau fiziškai nebepajėgia maksimizuoti galios. Taip yra dėl to, kad kabelyje nuo fotomodulių iki elektrinės sistemos dėl tekančios apie 10 A srovės susiformuoja ženklus įtampos kritimas, dėl kurio maksimalios galios įtampa gaunama esant mažesnei negu 14 V įtampai. Buvo išmatuotos visų blokų kabelių varžos, kurios pateiktos žemiau esančioje lentelėje.

4.1 lentelė

Išmatuotų kabelių nuo fotomodulių iki elektrinės įrangos elektrinės varžos

Fotomodulių blokas	8x10 W	290 W	5x70 W*
Kabelio elektrinė varža, Ω	0,316	0,542	0,481

* šis blokas dėl ženklų galios nuostolių po tyrimo perjungtas nuosekliai-lygiagrečiai į 4x70W bloką.

Išmatuotos varžos sąlyginai yra didelės. Atsižvelgiant į tai, kad sistemos įtampa yra žema, o srovės didelės, kabelio aktyvioje varžoje prarandama pagaminta saulės elektros energija. Tekant šiuo atveju 10 A srovei, kai tinklo keitiklis nebeįstengia maksimizuoti sistemos galios, galios nuostoliai kabelyje yra:

$$P_{nuost.} = I_{kab.}^2 \cdot R_{kab.} = 10^2 \cdot 0,481 = 48,1W \quad (4.1.)$$

čia: $P_{nuost.}$ - tiriamojo saulės elektrinės 5x70 W kabelio galios nuostoliai;

$I_{kab.}$ - kabelio laidininku tekanti elektros srovė;

$R_{kab.}$ - aktyvioji kabelio varža.

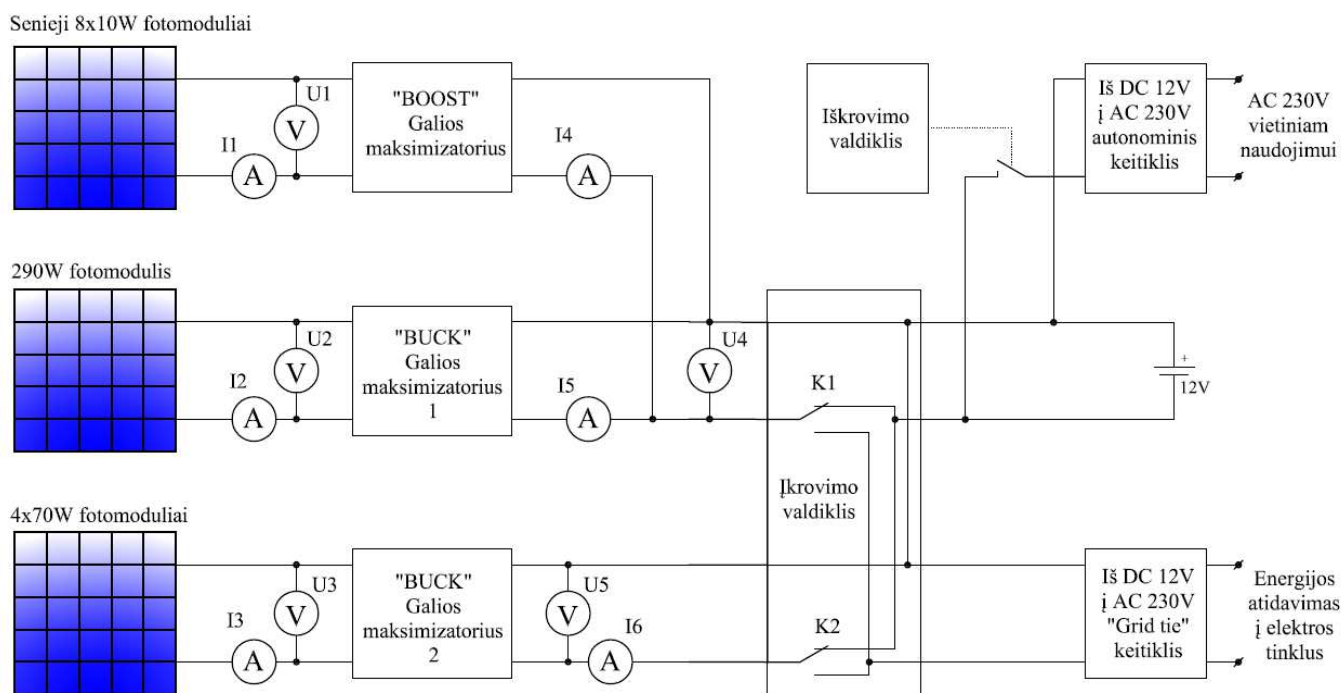
Iš gauto rezultato matyti, kad galios nuostoliai kabelyje yra ženklūs, todėl būtina juos sumažinti. Nuostoliai sudaro net 13,74 % bloko suminės vardinės galios (350 W).

Kadangi kabelio varžos pakeitimas yra sudėtingas ir reikalauja nemažų papildomų investicijų, nutarta galios nuostolius sumažinti aukštinant fotomodulių įtampą. Įtampos aukštinimas atliktas fotomodulius sujungus nuosekliai – lygiagrečiai. Taip buvo galima sujungti 4-is fotomodulius, nes tokiam sujungimui reikalingas lyginis fotomodulių skaičius. Po sujungimo šio bloko galia sumažėjo iki 4x70 W galios.

Kabelio prijungimo prie sistemos vietoje, pagamintas dar vienas įtampą žeminantis galios maksimizatorius, kuris yra analogiškas 290 W galios bloko maksimizatoriui. Šio įrenginio paskirtis bloke:

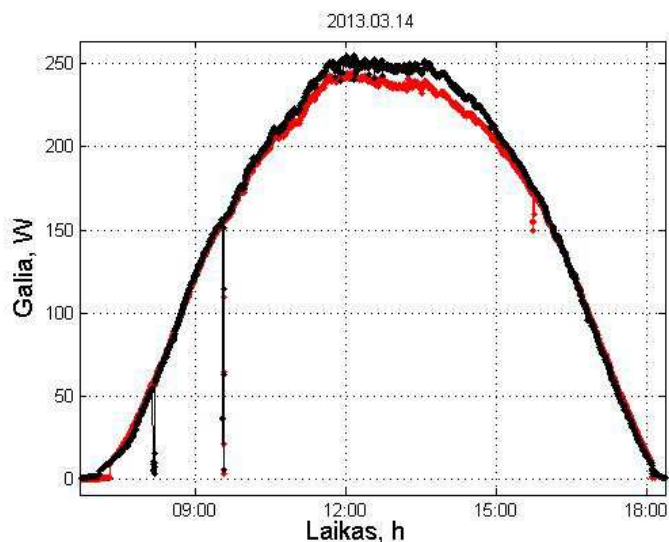
- 4x70 W bloko įtampos pažeminimas iki sistemos darbinės įtampos;
- Maksimalios galios paieškos diapazono praplėtimas tinklo keitiklio atžvilgiu.

Perdarius 5x70 W bloką į 4x70 W bloką ir prijungus žeminantį įtampą galios optimizatorių, saulės elektrinės struktūrinė schema parodyta žemiau esančiame 4.7 paveiksle.

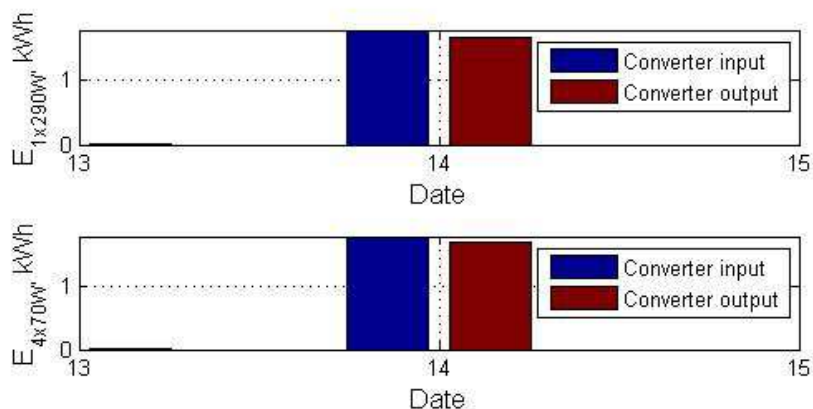


4.7 pav. Naujos saulės elektrinės struktūrinė schema po 5x70 W fotomodulių bloko perdarymo

Perdarius bloką, 290 W ir 4x70 W blokų galios tapo beveik vienodos. Atliktas tyrimas efektyvumo pagerinimui nustatyti po perdarymo palyginant šių dviejų blokų pagamintas galias saulėtą dieną. Gauti rezultatai parodyti žemiau esančiuose 4.8 ir 4.9 paveiksluose.



4.8 pav. 290 W ir 4x70 W momentinių galių palyginimas. Raudona – 290 W, juoda – 4x70 W momentinės galios



4.9 pav. 290 W ir 4x70 W pagamintos energijos palyginimas. Viršuje – 290 W bloko, apačioje – 4x70 W bloko pagaminta elektros energija

Iš gautų rezultatų matyti, kad 4x70 W blokas dirba žymiai efektyviau, lyginant su prieš tai atlikto tyrimo rezultatais (žr. į 4.5 ir 4.6 pav.) ir pagamina maždaug du kartus daugiau energijos, todėl įdiegtas galios maksimizavimo įtaisas šiame bloke yra reikalingas, pagerinant šio bloko efektyvumą.

4.2. Saulės elektrinės galios nuostolių tyrimas

Atlikus tam tikrus matavimus charakteringuose elektrinės taškuose, galima paskaičiuoti, kuriose saulės elektrinės dalyse prarandama pagaminta energija. Taip pat būtų galima nustatyti kiekvienos dalies naudingumo koeficientą elektrinės sistemoje.

Tyrimas atliktas 2013 metų gegužės 14 dieną 12 valandą 40 minučių. Tyrime atlikti saulėtą dieną operatyvūs matavimai charakteringuose saulės elektrinės įrangos taškuose. Atlikti naujų saulės elektrinės blokų (290 W ir 4x70 W) įtampos ir srovės matavimai. Gauti matavimo rezultatai pateikti žemiau esančioje lentelėje.

4.2 lentelė

Atliktų matavimų rezultatai elektrinės efektyvumui nustatyti

Saulės elektrinės blokai	290W	4x70W
Įėjimų į galios maksimizatorius įtampa, U_{MPPTin} , V	29,4	30
Įėjimų į galios maksimizatorius srovė, I_{MPPTin} , A	8,3	8,4
Išėjimų iš galios maksimizatorių įtampa, $U_{MPPTout}$, V	16,9	16,9
Išėjimų iš galios maksimizatorių srovė, $I_{MPPTout}$, A	13,6	14,4
Įtampos kritimas ant įkrovimo valdiklio gnybtų, $U_{Ikr.}$, V	0,478	0,464
Išėjimo iš įkrovos valdiklio įtampa, $U_{Ikr.OUT}$, V	16,2	
Įtampos kritimas ant laido, jungiančio įkrovimo valdiklį su tinklo keitikliu, U_{laido} , V	0,3	
Keitiklio galia atiduodama į tinklą, $P_{keitiklio}$, W	385	

Iš gautų matavimo rezultatų, apskaičiuojami saulės elektrinės sistemos galios nuostoliai.

Galios nuostoliai kabeliuose nuo fotomodulių ant stogo iki saulės elektrinės įrangos:

$$P_{kab.290W} = I^2 \cdot R_{kab.} = 8,3^2 \cdot 0,542 = 37,34W ; P_{kab.4x70W} = I^2 \cdot R_{kab.} = 8,4^2 \cdot 0,481 = 33,93W . \quad (4.2)$$

čia: $P_{kab.290W}$. ir $P_{kab.4x70W}$. - galios nuostoliai kabeliuose, jungiančius 290W ir 4x70W fotomodulių blokus su elektrine įranga;

I - kabelio laidininku tekanti elektros srovė iš 4.2 lentelės;

$R_{kab.}$ - aktyvioji kabelio varža iš 4.1 lentelės.

Galios nuostoliai galios maksimizavimo įtaisuose:

$$P_{MPPT.290W} = P_{MPPTin} - P_{MPPTout} = 29,4 \cdot 8,3 - 16,9 \cdot 13,6 = 14,18W ; \quad (4.3)$$

$$P_{MPPT.4x70W} = P_{MPPTin} - P_{MPPTout} = 30 \cdot 8,4 - 16,9 \cdot 14,4 = 8,64W . \quad (4.4)$$

Galios nuostoliai įkrovimo valdiklyje:

$$P_{Ikr.} = U_{Ikr.290W} \cdot I_{MPPTout.290W} + U_{Ikr.4x70W} \cdot I_{MPPTout.4x70W} = 0,478 \cdot 13,6 + 0,464 \cdot 14,4 = 13,18W \quad (4.5)$$

čia: $U_{Ikr.290W}$ ir $U_{Ikr.4x70W}$ - įtampos kritimai ant įkrovos valdiklio teigiamą ir neigiamą potencialą turinčių gnybtų (iš 4.2 lentelės).

Laido jungiančio įkrovos valdiklį su tinklo keitikliu galios nuostoliai:

$$P_{laido.} = (I_{MPPTout.290W} + I_{MPPTout.4x70W}) \cdot U_{laido} = (13,6 + 14,4) \cdot 0,3 = 8,4W \quad (4.6)$$

Tinklo keitiklio galios nuostoliai:

$$P_{keitiklio_nuost.} = P_{keitiklio_in} - P_{keitiklio} = ((16,2 - 0,3) \cdot 28) - 385 = 60,2W \quad (4.7.)$$

Ant saulės fotomodulio gnybtų gaunama galia:

$$P_{290W} = U_{MPPTin} \cdot I_{MPPTin} + I_{MPPTin}^2 \cdot R_{kab.} = 29,4 \cdot 8,3 + 8,3^2 \cdot 0,542 = 281,35W \quad (4.8.)$$

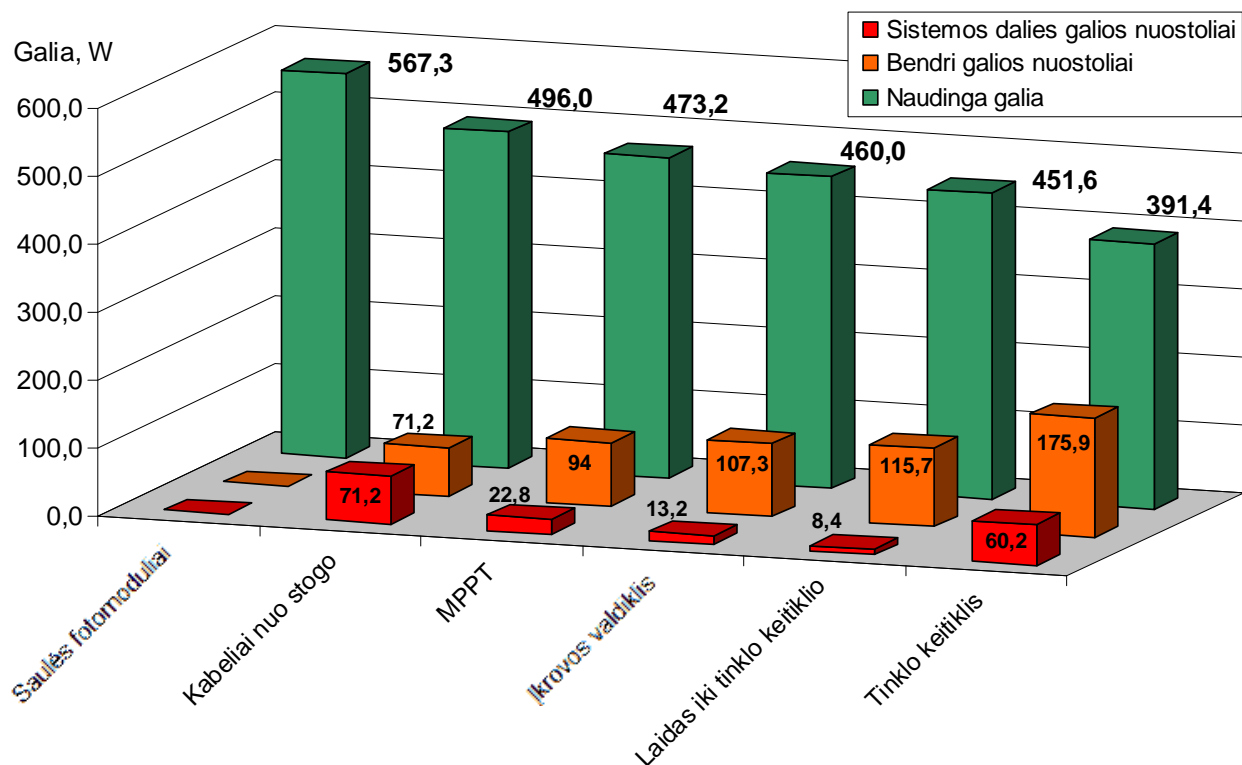
$$P_{4x70W} = U_{MPPTin} \cdot I_{MPPTin} + I_{MPPTin}^2 \cdot R_{kab.} = 30 \cdot 8,4 + 8,4^2 \cdot 0,481 = 285,94W \quad (4.9.)$$

Toliau apskaičiuojamas kiekvienos dalies naudingumo koeficientas padalinant išėjimo galią iš įėjimo galios. Taip pat apskaičiuotas bendras sistemos fotomoduliai - tinklo keitiklis naudingumo koeficientas, perduodant saulės fotomodulių pagamintą elektros energiją į tinklą. Gauti rezultatai pateikti žemiau esančioje 4.3 lentelėje.

4.3 lentelė

Saulės elektrinės galios nuostolių tyrimo rezultatai			
290 W fotomodulių bloko galios nuostoliai, naudingumo koeficientai			
Elektrinės dalies pavadinimas	Galios nuostoliai, W	Elektrinės dalies naudingumo koeficientas, η	Bendras šios dalies elementų naudingumo koeficientas, η
Kabelis nuo fotomodulių bloko iki galios optimizatoriaus	37,34	0,87	0,87
Galios maksimizatorius	14,18	0,94	0,82
4x70 W fotomodulių bloko nuostoliai, naudingumo koeficientai			
Elektrinės dalies pavadinimas	Galios nuostoliai, W	Elektrinės dalies naudingumo koeficientas, η	Bendras šios dalies elementų naudingumo koeficientas, η
Kabelis nuo fotomodulių bloko iki galios optimizatoriaus	33,93	0,88	0,88
Galios maksimizatorius	8,64	0,97	0,85
Trakto įkrovos keitiklis – tinklo keitiklio išėjimas galios nuostoliai, naudingumo koeficientai			
Elektrinės dalies pavadinimas	Galios nuostoliai, W	Elektrinės dalies naudingumo koeficientas, η	Bendras šios dalies elementų naudingumo koeficientas, η
Įkrovos valdiklis	13,18	0,97	0,97
Laidas nuo įkrovos valdiklio iki tinklo keitiklio	8,40	0,98	0,95
Tinklo keitiklis	60,20	0,87	0,83
Bendras visos sistemos naudingumo koeficientas			
<u>0,69</u>			

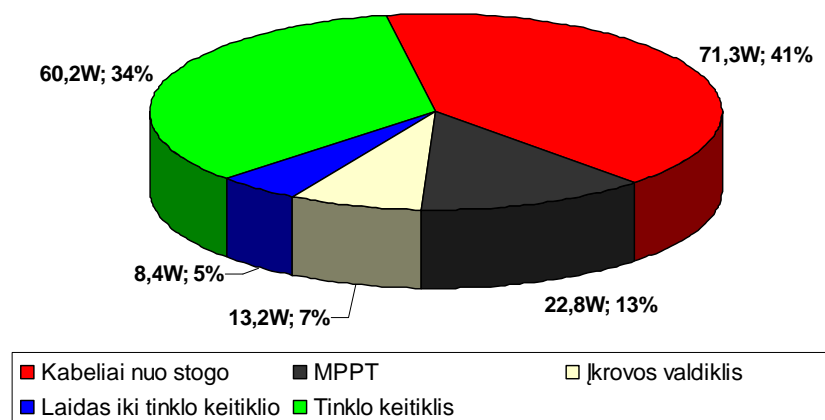
Gauti rezultatai pavaizduoti žemiau esančiame 4.10 paveiksle.



4.10 pav. Gautų galios nuostolių tyrimo rezultatų duomenys

Iš gautų rezultatų matyti, kad didžiausi galios nuostoliai yra gaunami kabelyje ir tinklo keitiklyje. Mažesni galios nuostoliai yra gaunami galios maksimizatoriuose (MPPT), įkrovimo valdiklyje, laide iki tinklo keitiklio. Iš viso sistemoje prarandama 175,9 W naudingosios galios, todėl sistemos bendras efektyvumas sumažėja iki $\eta=0,69$.

Procentais išreikšti visi sistemos elementų galios nuostoliai parodyti žemiau esančiame 4.11 paveiksle.



4.11 pav. Saulės elektrinės galios nuostoliai išreikšti procentais

Naudingumą bŭtŭ galima efektyviai padidinti sumaŭinus kabeliŭ aktyviajŭ varŭŭ, t.y. padidinus kabeliŭ skerspjŭvius. Tai pat neŭymiai efektyvumŭ padidintŭ laido iki tinklo keitiklio skersmens padidinimas. Didŭiaja dalimi tokiŭ naudingumo koeficientŭ sŭlygoja sistemoje veikiančios didelės elektros srovės, kurios ir sukuria tokius elektrinius nuostolius, todėl kaip alternatyva efektyvumui didinti galėtŭ bŭti įtampos aukŭstinimas.

5. IŠVADOS

Pagrindinis šio darbo tikslas yra susijęs su saulės elektrinės, įrengtos ant Šiaulių Universiteto Technologinio fakulteto stogo atnaujinimu, efektyvumo nustatymu bei efektyvumo gerinimu, panaudojant galios elektronikos komponentus. Pagal nurodytus reikalavimus sukonstruota naujos saulės elektrinės įranga, kuri praplečia šio objekto energetinį potencialą ir tyrinėjimų bazę.

Atlikus šį magistro baigiamąjį darbą galima daryti tokias išvadas:

1. Senosios saulės elektrinės fotomoduliai buvo įsigyti 1997 m.. Šiuo metu tokie saulės fotomoduliai yra nekonkurencingi šiuolaikiniams efektyvumo požiūriu, todėl atsirado poreikis įsigyti šiuolaikiškus polikristalinius fotomodus, kurie turi visas savybes, būdingas 2 kartos polikristaliniams fotomoduliams.

2. Saulės elektrinės įranga po atnaujinimo leidžia atlikti visapusiškus tyrimus, susijusias su tokio tipo elektrinėmis, atliekant saulės intensyvumo, elektrinės įrangos monitoringą instaliuotais į elektrinę matavimo prietaisais.

3. Saulės elektrinės efektyvumui didinti suprojektuoti ir sukonstruoti galios maksimizavimo įtaisai leidžiantis saulės elektrinei dirbti suderintuoju režimu taip ženkliai padidinant jos energetinį efektyvumą. Šie įtaisai lanksčiai prisitaiko prie besikeičiančių išorinių ir vidinių veiksnių, kuriuos lemia saulės intensyvumo nuolatinė dinamika, šiluminis poveikis fotomoduliams, apkrovos pasikeitimas imtuvo pusėje.

4. Įkrovimo valdiklis leidžia saulės elektrinės pagamintą energiją lanksčiai reguliuoti (pagal poreikį tiekti akumuliatoriams krauti, arba jį pakrovus, energijos perteklių atiduoti į tinklą).

5. Saulės elektrinė po atnaujinimo yra automatizuota, pagal atitinkamus algoritmus atlieka reikiamus valdymo procesus. Taip pat saulės elektrinės darbą galima stebėti ir ją valdyti nuotoliniu būdu per internetą.

6. Atlikus saulės elektrinės galios nuostolių analizę, rastos silpnosios saulės elektrinės vietos, kuriose galios nuostoliai yra didžiausi. Bendras saulės elektrinės efektyvumo koeficientas yra lygus 0,69. Labiausiai bendrą saulės elektrinės efektyvumą sąlygoja kabelio nuo stogo iki įrangos aktyviosios varžos nuostoliai, kurie yra ženklūs ir sudaro net 41 % nuo bendrų galios nuostolių. Taip pat mažesnę efektyvumą sąlygoja tinklo keitiklio nuostoliai, kurie sudaro 34 % nuo bendrų galios nuostolių.

7. Ištirto tinklo keitiklio parametrai ženkliai skiriasi nuo pateiktų gamintojo parametrų, kurie yra deklaruojami, pvz.: darbinės įtampos diapazonas 10,5-28 V, nors yra maždaug nuo 13 V

iki 19 V ribose; naudingumo koeficientas deklaruojamas gamintojo $\eta=0,99$, tačiau tyrimo metu gauta $\eta=0,83$. Dėl kitų deklaruojamų parametrų adekvatumo tai pat abejojama.

8. Nors galios maksimizatoriai taip pat naudoja dalį energijos savo reikmėms, tačiau gaunama nauda šių prietaisų gerokai padengia savuosius galios nuostolius.

9. Ateities darbai yra susiję su tolimesniais galios sekimo sistemų tyrimais ir kitų fotoelektrinės energetinio efektyvumo didinimo priemonių analize ir pritaikymu, leidžiančių saulės elektrinės darbą padaryti kuo efektyvesnį.

6. LITERATŪRA

1. Google maps [interaktyvus]. ŠUTF palydovinė nuotrauka [Žiūrėta 2013-03-10]. Prieiga per internetą: <<https://maps.google.lt/maps?hl=lt&tab=wl>>.
2. Apie saulės energija. [Žiūrėta 2013-03-10]. Prieiga per internetą: <<http://www.alera.lt/apie-saules-energija> >.
3. Masiokas S. Elektrotechnika. Vilnius : Mokslas, 1989. 424 p.
4. Gilbert M. Renewable and efficient electric power systems. 2004. John Wiley & Sons, Inc. 667 p.
5. Saulės sekimo sistemas [Žiūrėta 2013-03-11]. Prieiga per internetą: <<http://www.sunbaltic.eu/index.php/pageid/711>>.
6. Solar tracking kit. [Žiūrėta 2013-03-11]. Prieiga per internetą: <<http://cdselectronics.com/Kits/SolarTracker.htm> >.
7. Solar tracker circuit schematic . [Žiūrėta 2013-03-11]. Prieiga per internetą: <<http://electroschematics.com/8019/diy-solar-tracker-system/>>.
8. Theoretical assessment of the maximum power point tracking efficiency of photovoltaic facilities with different converter topologies. 2006. J.M. Enrique, E. Dura ir kt. 8p.
9. LNSF 290P solar panel [Žiūrėta 2013-03-11]. Prieiga per internetą: <<http://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/Polycrystalline/8013>>.
10. Principles of steady-state converter analysis. [Žiūrėta 2013-03-11]. Prieiga per internetą: <http://techno.su.lt/~valiulis/dokai/DC-DC_converters.pdf>.
11. Yuzuncu Yil University, Department of Electrical and Electronics Engineering. A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. Turkija. 2011. 9 p.
12. T. Markvarta, L. Castañe. Principles of Solar Cell Operation. Barselona. 2012. 25 p.
13. J. Neil Ross. System Electronics. University of Southampton, UK. 2012. 23 p.
14. V. Devabhaktunia, M. Alama, S. Depuru. Solar energy: Trends and enabling technologies. University of Toledo, United States. 2012. 10 p.
15. M. A. Eltawila, Z. Zhao. Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—A review. singhua University, China. 2009. 18 p.
16. A. R. Reisia, M. H. Moradi, S. Jamasb. Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review. Islamic Azad University, Shahrekord, Iran. 2012. 11 p.
17. A. A. Bayod-Rújula, A. Ortego-Bielsa, A. Martínez-Gracia. Photovoltaics on flat roofs: Energy considerations. CIRCE/University of Zaragoza, Spain. 2009. 15 p.

18. P. Petit, A. Zgaoui, J.-P. Sawicki, M. Aillerie. New architecture for high efficiency DC-DC converter dedicated to photovoltaic conversion. France. 2011. 7 p.

19. GreenTech GT-70PCX [Žiūrėta 2013-05-26]. Prieiga per internetą: <<http://fotoogniwa-sklep.pl/pl/p/GreenTech-GT-70PCX/385>>.

20. On grid tie solar inverter (BP-GTI-500W) [Žiūrėta 2013-05-26]. Prieiga per internetą: <<http://www.tradesparq.com/products/605603/On-grid-tie-solar-inverter-500w-DC10-5-28V-AC230V-BP-GTI-500W-manufacturers>>.