



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

# MAKSIMAALSE VÕIMSUSPUNKTI JÄLGIMISEGA AKULAADIJA PÄIKESEPANEELIDELE

PV CHARGE CONTROLLER WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Platon Tanaga

Üliõpilaskood: 179039 EAAB

Juhendaja: Indrek Roasto

Tallinn, 2020

## AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” ..... 201.....

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 201.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

# LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

*Autor:* Platon Tanaga

*Lõputöö liik:* Bakalaureusetöö

*Töö pealkiri:* Maksimaalse võimsuspunkti jälgimisega akulaadija päikesepaneelidele

*Kuupäev:* 19.05.2020

38 lk

*Ülikool:* Tallinna Tehnikaülikool

*Teaduskond:* Inseneriteaduskond

*Instituut:* Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

*Töö juhendaja(d):* Vanemteadur Indrek Roasto

*Töö konsultant (konsultandid):*

*Sisu kirjeldus:*

Selle bakalaureusetöö eesmärgiks on leida lahendus muunduri juhtimisele päikesepaneeli maksimaalse võimsuspunkti ja aku maksimaalse laadimisvõimsuse rakendamiseks.

Päikesepaneelide maksimaalne väljundvõimsus on pidevalt muutumas erineva valgusvoo tõttu.

Parima väljundvõimsuse ja efektiivsuse tagamiseks on muunduri programmis rakendatud maksimaalse võimsuspunkti jälgimise algoritmid. Kuid paneelide osalise päikesevarjutuse tõttu muutub maksimumvõimsuspunkti otsimine keeruliseks ning kaasneb lisa energiakadudega.

Töö raames oli välja töötatud täiendatud muunduri algoritmid valgusandurite kasutamisega. Need aitavad jälgida paneelile jõutavat valgust ning optimeerida muunduri tööd.

Süsteemi projekteerimisel oli koostatud ka simulatsiooni mudel, mille abil on koostatud ja testitud valmis programmikood. Programmi koodi on võimalik minimaalsete muudatustega rakendada reaalses muunduris.

*Märksõnad:* Päikese voolumuundurid, MPPT algoritm, Muunduri programmeerimine, Valgusandurid, Simuleerimis mudel, projekteerimine.

# ABSTRACT

*Author:* Platon Tanaga

*Type of the work:* Bachelor Thesis

*Title:* PV charge controller with maximum power point tracking

*Date:* 19.05.2020

38 pages

*University:* Tallinn University of Technology

*School:* School of Engineering

*Department:* Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics

*Supervisor(s) of the thesis:* Senior Research Scientist Indrek Roasto

*Consultant(s):*

*Abstract:*

The aim of this bachelor thesis is to find a solution for charge controllers to operate at maximum power point and charge battery with maximum power available.

Solar panels power output is continuously changing due to different luminous flux. To achieve best power output and effectiveness maximum power point tracking algorithms are implemented in controller program. However, in partially shaded conditions the search of maximum power point becomes sophisticated and follows with power losses.

To overpass this problem a new enhanced controller algorithm was developed with the use of light sensors. As a result, sensors help in monitoring light parameters and optimizing the controller's work.

A simulation model was composed as part of the system engineering, hence created and tested working program code. This code can be applied to real charge controller with minimal changes.

*Keywords:* Solar charge controller, MPPT algorithm, Controller programming, Light Sensor, Simulation model, engineering.

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Lõputöö teema:	<b>Maksimaalse võimsuspunkti jälgimisega akulaadija päikesepaneelidele</b>
Lõputöö teema inglise keeles:	<b>Maximum Power Point Tracking Battery Charger for PV</b>
Üliõpilane:	<b>Platon Tanaga 179039</b>
Eriala:	<b>Elektroenergeetika ja Mehhatroonika EAAB</b>
Lõputöö liik:	<b>Bakalaureusetöö</b>
Lõputöö juhendaja:	<b>Indrek Roasto</b>
Lõputöö ülesande kehtivusaeg:	<b>30.06.2020</b>
Lõputöö esitamise tähtaeg:	<b>20.05.2020</b>

\_\_\_\_\_  
Üliõpilane (allkiri)

\_\_\_\_\_  
Juhendaja (allkiri)

\_\_\_\_\_  
Õppekava juht (allkiri)

## 1. Teema põhjendus

Lõputöö raames kavandatud lahendus võimaldab kasutada päikesepaneeli kõrgeima tootlikkusega, ning sellega ühendatud akuseade võimaldab energiat hilisemaks kasutamiseks salvestada. Antud lahendus on perspektiivne ja ka kasutuses mitmetel toodetel ja süsteemidel. Süsteemi uudsuseks on maksimum võimsuspunkti leidmise algoritmi muutmine sõltuvalt parameetrite näitudest.

## 2. Töö eesmärk

Töö eesmärgiks on leida lahendus muunduri juhtimisele päikesepaneeli maksimaalse võimsuspunkti ja/või aku maksimaalse laadimisvõimsuse rakendamiseks.

## 3. Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

- 1) Milline on sobilik aku suurus, süsteemi topoloogia ja muunduri tüüp, mida sellises lahenduses rakendada?
- 2) Millised tingimused mõjutavad maksimaalse võimsuspunkti asukohta ja kuidas neid jälgida?
- 3) Lähtudes valgusvoo ja temperatuuri anduritest otsustada millal käivitada globaalne MPPT algoritm.

## 4. Lähteandmed

- 1) Olemasoleva päikesepaneeli-katseplatvormi parameetrid.

- 2) Nominaalsed võimalikud päikesepaneelide tootlikkus-tunnusjooned.
- 3) Parimate antud hetkel saadaolevate akude parameetrid

## 5. Uurimismeetodid

Algandmete kogumine ja analüüs. Simulatsiooni läbi viimine. Simulatsiooni katseline tõestus

Maksimaalset võimsuspunkti leidmiseks oleks vaja sooritada mõõtmised erinevatel tingimustel. Andmete analüüsiks kasutatakse Exceli tabeleid parameetrite leidmiseks ja tulemuste graafiliste esitamiseks.

## 6. Graafiline osa

Joonised

1. Maksimaalse võimsuspunkti kõver sõltuvalt valgusvoost
2. Maksimaalse võimsuspunkti kõver sõltuvalt temperatuurist
3. Maksimaalse võimsuspunkti kõver sõltuvalt

Skeemid

1. Päikesemoodulite-, muunduri-, aku- ja juhtimiskeem.

Tabelid

1. Valgusvoo ja võimsuse tabel.

## 7. Töö struktuur

1. Sissejuhatus
2. Laadimiskontrolleri tööpõhimõte ja maksimum võimsuspunkti otsimine
3. Katseplatvormi projekteerimine
4. Juhtimisalgoritmi kirjeldus
5. Katsetulemused ja kokkuvõte

## 8. Kasutatud kirjanduse allikad

Raamatud

Teadusartiklid

Veebilehed

Andmelehed

1. <https://www.arduino.cc/en/reference/board>

2. <https://www.solar-electric.com/learning-center/mppt-solar-charge-controllers.html/>

## **9. Lõputöö konsultandid**

Lauri Kütt

## **10. Töö etapid ja ajakava**

Kirjanduse läbitöötamine (14.03)

Lähteandmete kogumine (23.03)

Teoreetilise osa kirjutamine (30.03)

Arvutuste ja mõõtmiste teostamine (06.04)

Uuringu tulemuste kirjeldamine (13.04)

Järelduste kirjutamine (19.04)

Kokkuvõtte koostamine (26.04)

Töö esimene versioon valmis (26.04)

Juhendajale läbilugemiseks saatmine (26.04)

Juhendajale teiseks läbilugemiseks saatmine (03.05)

Töö lõplik versioon valmis (20.05)

## SISUKORD

LÕPUTÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE.....	3
ABSTRACT .....	4
LÕPUTÖÖ ÜLESANNE .....	5
EESSÕNA.....	9
SISSEJUHATUS .....	10
1. PÄIKESEPANEELID JA JÕUELEKTRONIKA.....	12
1.1 Maksimum võimsuspunkti jälgimise põhimõte .....	12
2. KATSESEADME EHITUS .....	15
2.1 Muundur .....	15
2.2 Päikeseelemendid .....	17
2.3 Andurid .....	18
2.4 Akupatarei.....	19
2.4.1 Aku laadimismetoodika.....	20
2.5 Projekteerimise vahekokkuvõte .....	21
3. SIMULEERIMINE .....	22
3.1 Skeem.....	22
3.2 Muunduri tööloogika .....	23
3.3 Arduino tööloogika .....	26
4. TULEMUSTE ANALÜÜS .....	30
KOKKUVÕTE .....	33
SUMMARY .....	34
KASUTATUD KIRJANDUS .....	35
Lisa 1 TIDA-010042 Plokk diagramm.....	37
Lisa 2 TIDA-010042 Elektriskeem .....	38



## EESSÕNA

Töö teema esialgne pakkumine tuli elektrenergeetika ja mehhatroonika programmijuhi Lauri Kütt poolt. Seoses isehitatud päikesepaneelidega tuli leida selle energia muundamisele ja tarbimisele lahendus.

Töö koostamine toimus Tallinna Tehnikaülikooli Elektroenergeetika ja mehhatroonika vanemteaduri Indrek Roasto juhendamisel.

## SISSEJUHATUS

Üheks tähtsamaks majandusvaldkonnaks paljudes riikides loetakse energeetika valdkonda. Alati olnud eesmärgiks olla innovaatiline, arenenud ja sõltumatu. Inimestele oli ja on ülimalt tähtis energiaallikate olemasolu, sest just see on kasvava ökonoomika, teaduse ja tehnika arengu aluseks. Tänapäeval üks kõige universaalsemaks energiaks on elektrienergia. Vaatamata sellele et elektroenergeetika kui niisugune on oma alguse saanud vaid 19. sajandi teisel poolel kasutatakse seda praegu absoluutselt kõikjal.

Senimaani muretu elektrienergia tootmine fossiilkütustest ei saa olla lõpmatu lahendus aina kasvavale nõudmisele. Selleks on peamiselt fossiilkütuste piiratud kogus maailmas ning ökoloogia küsimused, mis on eriti aktuaalsed nüüdsel ajal. Järelikult tuleks kalduda alternatiivsete energiaallikate poole. Nende seast on täna aina populaarsemaks muutumas päikeseenergeetika tänu oma lihtsa põhimõttele ja igal pool kasutatavusele. Kuigi päikeseenergeetika on paljulubav tehnoloogia ei ole see sugugi ideaalne. Üheks kriitilisemaks kohaks energeetikas on seadmete kasutegurid. Võime teha kasulikku tööd ilma suuri kadudeta on tähtis ka elektrienergia tootmisel. Kõrgemate kasutegurite saavutamine aitab eelkõige kasutada energiat säästlikumalt ja valmistada sama mõõtmetega süsteeme suurema tootlikkusega. Sellele lisaks on kõrgemate kasuteguritega süsteemidel lühem tasuvusaeg.

Kasutegur elektrienergia tootmisel päikese paneelide abil sõltub mitmetest asjadest. Esialgu paneelist endast, siis muundurist kasutatava patareilahenduste puhul ja inverterist mis toodab üldkasutatavat vahelduvvoolu. Selles töös uurime just muundurite kasutegurit ja üritame välja töötada paremat tööalgoritmi.

Töö on sisaldab nii simuleerimismudeli koostamist programmis PLECS kuid ka reaalse süsteemi projekteerimis kirjeldust.

Olemasolevad muundurid globaalse maksimumpunkti jälgimise algoritmiga skaneerivad võimsuskõverat iga aja hetke tagant, isegi siis kui seda pole vaja. Lõputöö autori poolt pakutud uudse tehnilise lahenduse eesmärgiks on globaalse MPPT (Maximum Power Point Tracking) algoritmi käivitamine ainult siis kui see on tõesti vajalik. Nii poleks süsteemis lisakadusid ja kogu energia kasutamine oleks otstarbekam. Kuna kõige suuremaks teguriks, mis mõjutab päikese paneeli väljundvõimsust ja kogu võimsuskõverat on valgusvoog, siis kõige mõistlikum oleks jälgida just seda parameetrit. Ning juhul kui see muutub paneelil või paneelidel ebaühtlaseks rakendada globaalse maksimum võimsuspunkti otsing eeldades, et on tekkinud mitu lokaalset maksimum võimsuspunkti. Valguse ebaühtluse ehk varju tuvastamiseks tuleks kasutada valgusandureid ning

juurutada need muunduri süsteemis. Esiolgselt tuleks teostada ka skeemi simulatsioon, kus oleks kajastatud kõik olulised muunduri jõukomponendid ning selle tööalgoritm.

Lahendamisele kuuluvad järgmised ülesanded:

- Milline on sobilik aku suurus, süsteemi topoloogia ja muunduri tüüp, mida sellises lahenduses rakendada?
- Millised tingimused mõjutavad maksimaalse võimsuspunkti asukohta ja kuidas neid jälgida?
- Lähtudes valgusvoo anduritest otsustada millal käivitada globaalne MPPT algoritm.

# 1. PÄIKESEPANEELID JA JÕUELEKTROONIKA

Päikeseenergia vajab oma ebastabiilsuse tõttu pidevat reguleerimist. Seda ülesannet täidab päikeseenergia süsteemides muundur või laadimiskontroller, mis käitub kui vahelüli paneelide ja aku (või koormuse) vahel. Akuga süsteemidel kontrollib muundur selle laadimist, kaitseb üle- ja ala laadimise eest. Kuna akupatarei pinge muutub laadimisega, siis on vaja paneelidest akusse jõutavat voolu reguleerida. Tänapäeval on kasutusel kaks laadimiskontrolleri tüüpi: pulsilaiusmodulatsiooniga (PWM - Pulse Width Modulation) ja maksimaalse võimsuspunkti jälgimisega (MPPT). MPPT kontroller on parema efektiivsusega kui PWM kontroller, kuna suudab tagada maksimaalse võimsusvoo kõigis tingimustes [1].

## 1.1 Maksimum võimsuspunkti jälgimise põhimõte

Maksimum võimsuspunkti jälgimine ehk MPPT – „Maximum Power Point Tracking“ on meetodika, mis võimaldab muunduri abil panna päikesepaneel tööle igale hetkele vastava suurima võimsusega. Päikesepaneeli väljundvõimsus sõltub mitmest tegurist. Kõigepealt päikesepaneeli enda parameetrid: suurus, kristalli struktuur, nominaal kasutegur. Siis valgusvoost, päikesepaneeli temperatuurist ning muundurist mis on süsteemiga ühendatud. Kui esimesed tegurid sõltuvad väliskeskkonnast ja neid on raske ja ebaotstarbekas muuta või reguleerida siis muunduri puhul on lihtne kohandada selle parameetrid vastavalt olukorrale [2].

Igal päikesepaneelil on olemas oma nominaal väljundvõimsus, mis on selle väljund pinge ja voolu korrutis. Tähtsate parameetrite seas on lühisvool ( $I_{sc}$  – „I short circuit“) ja avatud ahela pinge ( $V_{oc}$  – „V Open Circuit“). Lühisvool on väärtus, kus pinge on null ja vool on maksimaalne ehk sisuliselt on paneeli väljundkontaktid lühises. Üldjuhul tuleks ohutuse mõistes sellist olukorda vältida. Avatud ahela pinge näitab päikese paneeli maksimum genereeritavat pinget, ehk olukord kus vool on null ja pinge on maksimaalne. Kõikides teistes olukordades genereerib päikesepaneel kasulikku energiat. Ning teatud pinge juures genereerib päikesepaneel maksimum võimsust, seda nimetatakse maksimum võimsuspunktiks. Kui ühendatud koormustakistus on võrdne päikesepaneeli pinge ja voolu jagatisega  $R = U/I$ , siis on paneeli väljundvõimsus maksimaalne. Tihti peale on aga koormustakistus teise väärtusega, lisaks on paneeli väljund pinge- ja vooluväärtused seotud valguskiirguse- ja temperatuurist. Järelikult on nendes tingimustes paneelilt saadav võimsus väiksem ja kogu süsteemi efektiivsus langeb [3].

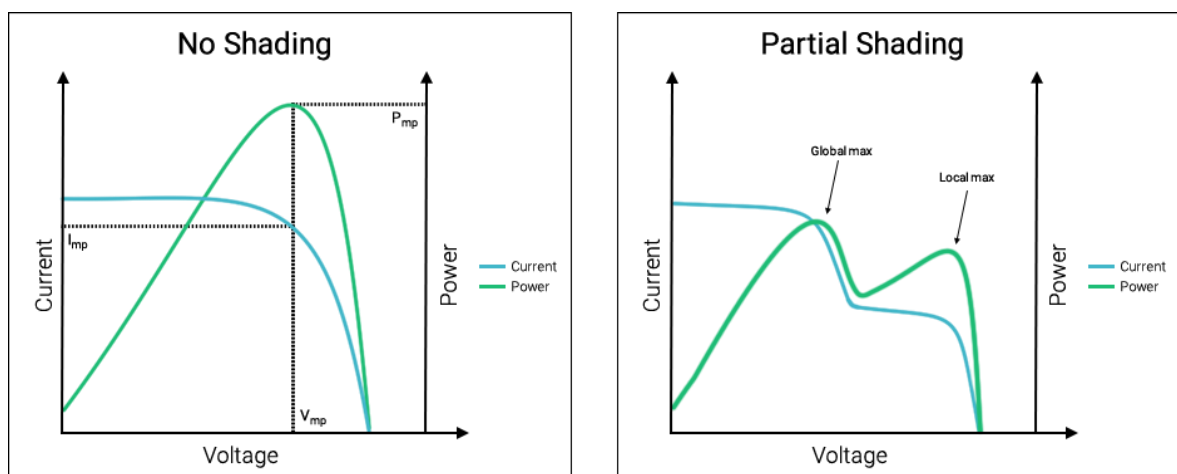
Maksimum võimsuspunkti jälgimiseks mõõdavad MPPT muundurid paneeli voolu ja pinget ning reguleerivad seda maksimum võimsuspunkti üles otsimiseks ja selle juures püsimiseks. Peamised maksimum võimsuspunkti algoritmid on:

- Proposed method
- Perturb and observe
- Incremental Conductance

Propose method kasutab MPP leidmiseks konstante. Petrurb & Observe ja Incremental Conductance kasutavad MPP (Maximum Power Point) leidmiseks voolu ja pingesensoreid [4].

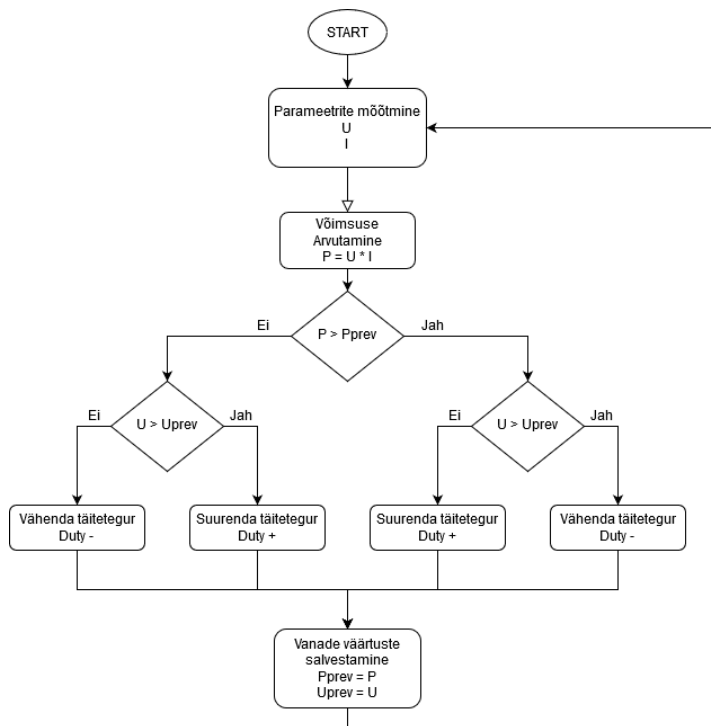
Kui välitingimused on kogu paneeli-/de ulatuses ühtlased, siis on süsteemil ainuke maksimumpunkt. Mõnedel juhtudel võib olla päikese süsteemil mitu maksimumpunkti tippu, see on tingitud parameetrite ebaühtlusega, tihti peale vari mis katab osa paneelist/paneelidest või temperatuuri erinevused. Sellisel juhul võib muundur jääda ühte kohaliku maksimumpunkti juurde, vaatamata teise võimsama maksimumpunkti olemasolul. Selle probleemi lahendamiseks on olemas Global MPPT algoritmiga muundurid, mis otsivad iga ajahetke tagant maksimumpunkti kogu võimsuskõvera ulatuses. Selline lahendus tõstab süsteemi tõhusust eritingimustes, kuid omab mitu puudust. Igal korral kui uuritakse võimsuskõverat kogu ulatuses on väljundvõimsus katkestatud, mis tähendab et süsteem toodab energiat kordades vähem või ei tooda üldsegi [5].

Osati varjatud päikesepaneelidel on võimsuskõvera graafikul mitu lokaalset maksimumpunkti (Joonis 1.1 paremal).



Joonis 1.1. Võimsuskõverad. Vasakul ilma varjutusega ja paremal osalise varjutusega [6]

Maksimumpunkti leidmiseks on kasutatud nii muunduris kui ka simuleerimisel Perturb & Observe (P&O) algoritmi, mis põhineb päikesepaneeli voolu ja pinge väärtuste pideval mõõtmisel ning võimsuse arvutamisel. Vastavalt sellele kuidas on muutunud võimsuse ja pinge väärtused korrigeeritakse PWM-i täitetegurit. Joonis 1.2 on näidatud P&O algoritm, kus  $U$ ,  $I$ ,  $P$  on hetkväärtused, ja indeksiga „prev“ on vastavad väärtused eelmisest mõõtmisest. Selline algoritm kehtib lokaalse maksimumpunkti jälgimisel.



Joonis 1.2. Perturb and Observe algoritm

Globaalse maksimumpunkti otsimisel on aga teistsugune lähenemine. Selle käivitamisel tuleb muunduril leida kõige suurema väärtusega võimsuspunkt kogu võimsuskõvera ulatuses. Globaalse otsingu käigus suurendatakse samm sammult PWM-i täitetegurit ning võrreldakse paneeli väljundvõimsust. Juhul kui väljundvõimsus ületab kõiki varasemaid saadud väärtusi salvestatakse antud hetkel täiteteguri parameeter. Pärast globaalse otsingu lõpetamist taastatakse täitetegur maksimaalse võimsuspunkti juures ning jätkatakse lokaalse MPPT töörežiimis.

## 2. KATSESEADME EHITUS

### 2.1 Muundur

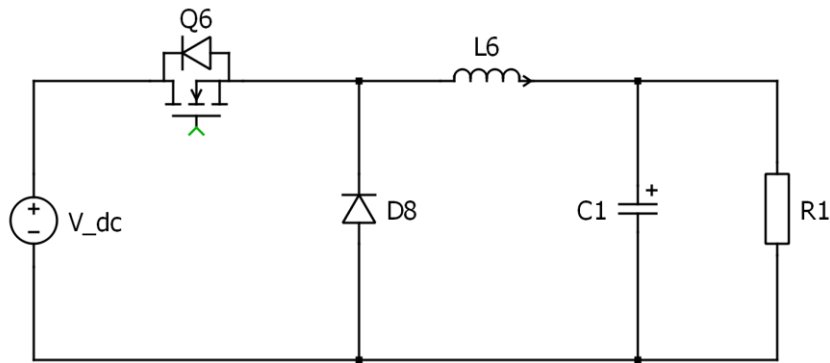
Turul olevad lahendused olgu see lokaalse või globaalse MPPT algoritmiga on valmis tooted ning ei kuulu muutmistele ning nende programmi koodi ei saa muuta. Sellega seoses tuli otsida muundurit mida oleks võimalik programmeerida oma juhtloogika järgi ja täiendada eesmärgi saavutamiseks. Sobivat päikese muundurit pakub näiteks „Texas Instruments“, nimega **TIDA-010042**. Antud muundurit ei ole küll võimalik valmis kujul osta, kuid selle valmistamiseks on kõik andmed avalikustatud: skeem, komponendid, tarkvara. Sellised „Reference Design“ plaadid on mõeldud testimiseks, õppimiseks ja uurimiseks. Samuti on võimalik seda täiendada oma funktsionaalsusega, mis sobib suurepäraselt püstitatud eesmärkide täitmiseks.

TIDA-010042 on „buck“ topoloogiaga muundur. See tähendab seda et see on alaldi funktsionaalsusega skeem, kus sisendpinge on väljundpingest suurem. Tänu sellele on muunduriga ette nähtud erinevate patareide laadimine [7].

TIDA-010042 on MPPT algoritmiga päikese paneelide muundur järgmiste tähtsate omadustega

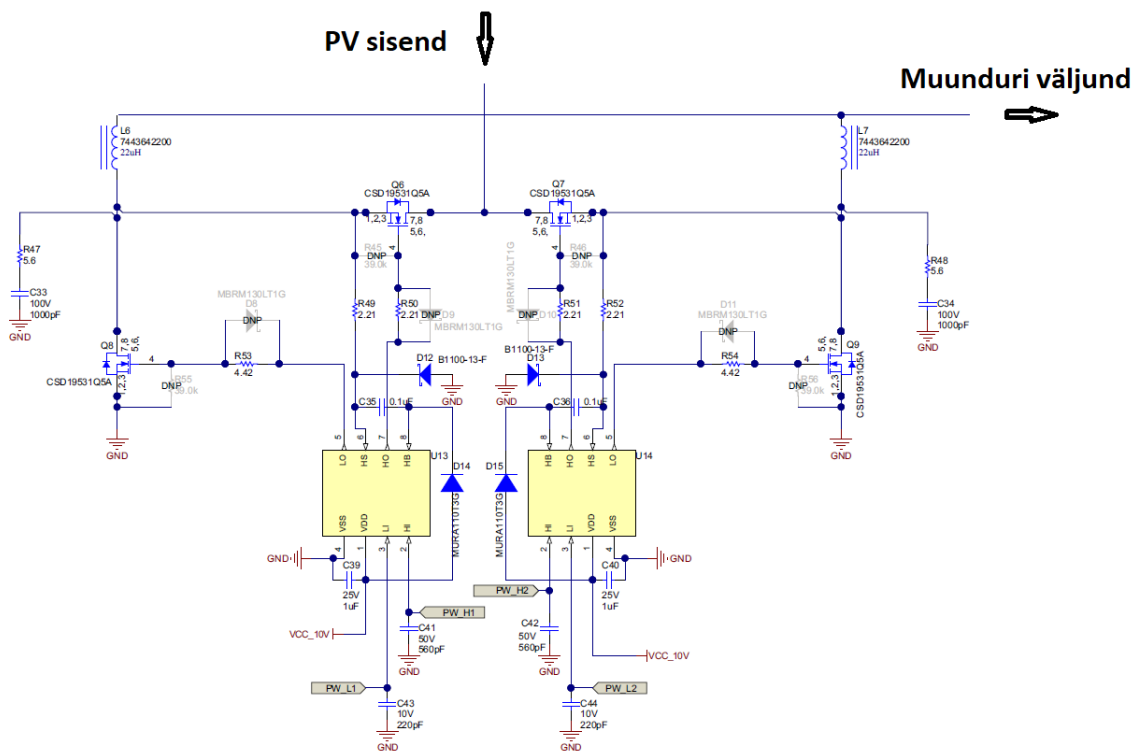
- Programmeeritav mikrokontroller
- 12 V aku laadimine
- Sisendpinge 15- kuni 60 V
- Maksimum väljundvool kuni 20 A
- Vale polaarsuse kaitse
- Kompaktsed mõõtmised

Buck topoloogia muundur on näidatud Joonis 2.1. Kus vool jookseb mööda transistorist Q6 ja poolist L6 koormusesse. Voolu tugevust reguleeritakse juhitava pulsilaiusmodulatsiooniga (PWM-iga) transistori abil. Pulsilaiusmodulatsioonis on kaks olekut: kõrge ning madal. Kõrge olekus rakendatakse transistorile pinge ning see sulgub, ehk hakkab juhtmina. Madal olekus pinget ei rakendata, seega transistor ei juhi voolu ning on avatud asendis. Kõrge oleku suhet kogu perioodi nimetatakse täiteteguriks, väljendatakse protsentides. Mida suurem on täitetegur seda rohkem aega on transistor suletud asendis, läbi selle on suurem väljundvoolu tugevus. Diiod D8 on ettenähtud vooluringi säilitamiseks poolis hetkel kui transistor on avatud asendis. Kondensaator C1 aitab hoida väljundpinget stabiilsena.



Joonis 2.1. Buck muunduri topoloogia

TIDA-010042 on kahefaasiline „Interleaved buck“ muundur, mis tähendab kaks identset madaltavat pingemuundurit rööpühenduses (Joonis 2.2). Transistorid Q6 Q7 vastutavad väljundvoolu reguleerimise eest, nende juhtimiseks on olemas kaks draiverit, PWM signaali tekitamiseks. Üks transistoritest töötab poole takti hilinemisega. Selline lahendus võimaldab hoida väljundvoolu ja pinget stabiilsena ning suurendada kogu muunduri võimsust. Diodide asemel on siin skeemis kasutusel transistorid Q8 Q9 paremate ajastuste ja kiiremate lülituste tagamiseks.

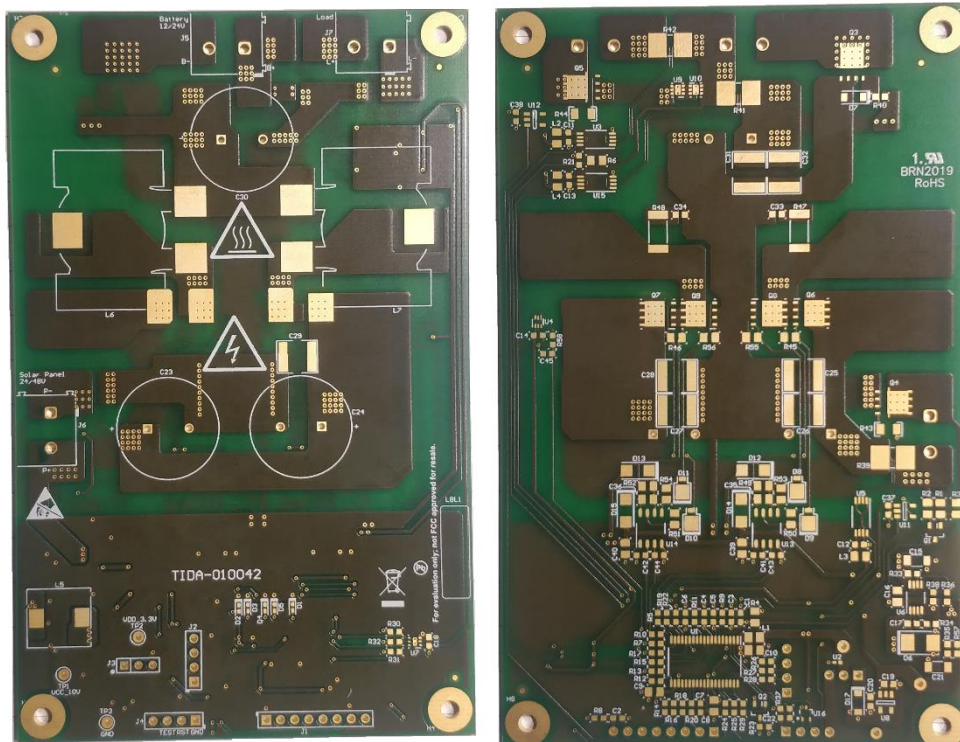


Joonis 2.2. TIDA-010042 jõuelektroonika skeem

Muunduri trükkplaadid (Pilt 2.1) oli valmistatud eesti ettevõtte „Brandner PCB“ poolt. Selline plaat on kahepoolne, mis tähendab et selle mõlemal poolel on vasest rajad. Enamus selle muunduri



komponentidest on SMD komponendid, mis tähendab et need on oma mõõtmetest pisikesed ja kinnituvad plaadi pinna peale. Tänu sellele on plaadi peal võimalik mahutada suur hulk komponente ja säilitada väiksed mõõtmised. Kuid see kindlasti lisab keerukust nende komponentide jootmisele.



Pilt 2.1 Muunduri TIDA-010042 elektronika plaat

## 2.2 Päikeseelemendid

Päikeseelementide valik tugines osaliselt TIDA-010042 muunduril, kus on sisendpingeks ette nähtud 15 kuni 60 V. Ning võimsusest rääkides oleks mõistlikum kasutada muunduri potentsiaali peagi täis ulatuses. Nii saab kasutada projekteeritud süsteemi võimsamate voolutarbijatega ning tõsta ka muunduri kasutegurit. Nii on valik langenud kahele jadamisi ühendatud 100 W paneelile CBSPSL/100 mille parameetrid on:

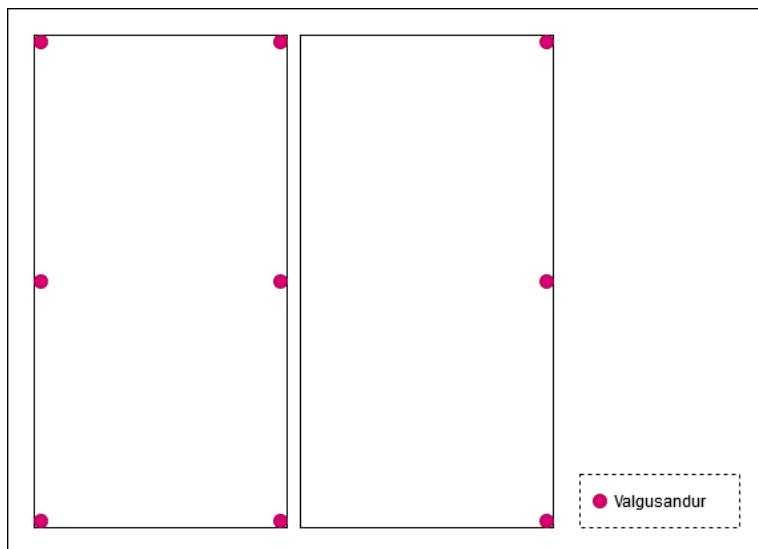
- Power Rating: 100W
- Current at P Max: 5.21A
- Open Circuit Voltage: 23V
- Short Circuit Current: 5.57A

Kahe sellise jadamisi ühendatud paneeliga on avatud ahela pinge 46 V, mis on muunduri lubatud vahemikus. Ning nende nominaalvõimsus on 200 W mis on ligilähedane muunduri võimalustele 240W [8].

## 2.3 Andurid

Töö autor pakkus välja uudse täienduse päikesepaneelidele. Lisada päikesepaneelidele valgustugevuse andurid. Nende eesmärk on tuvastada valguse erinevust ja anda muundurile käsk käivitada globaalne MPPT. Paneeli peal oleks kõige mõistlikum paigutada andurid nurkade peale ning lisaandurid paneeli pikema serva keskel. Kusjuures iga teise paneeli paiknemisel võib säästa 3 andurit esimese paneeli vastas oleva serva pealt, vaata Joonis 2.3. Lisaandurite paigaldamine paneeli keskele oleks ebapraktiline kahel põhjusel. Esiteks oleks paneel osati varjatud nii anduri kui ka selle juhtmestuse poolt. Teiseks oleks andurite hulk üleliigne, eriti kehtib see suuremate süsteemide puhul kus on päikesepaneele kümnete ulatuses.

Eeldatavalt tuleb süsteemis 9 valgusandurit. Valgusandur kujutab endast muutuva takistusega resistorit. Iga anduri oma pin-i ühendamiseks tuleks kasutada vähemalt Arduino Mega, mis toetab kuni 16 analoog sisendit. Palju mõistlikum oleks kasutada I2C toetavat andurit. I2C on jadasiin, mis võimaldab ühendada meie projektis mitu valgusandurit ühe liini peale. Sellisel moel saab kasutada sama hulk valgusandureid ja samal ajal säästa Arduino pin-e. Sobilikuks valgusanduriks I2C toega on BH1750 [9].



Joonis 2.3. Valgusandurite asukoht paneelide peal

## 2.4 Akupatarei

Akupatareid on olnud lahutamatu osa peaaegu iga PV (Photovoltaics cell, ehk fotogalvaaniline element) süsteemist. Akupatarei kasutamine PV süsteemis omab mitut eesmärki. Eelkõige Selle olemasolu võimaldab kasutada elektrienergiat ajal kus päikesepaneel ei tooda elektrienergiat, näiteks öösel. Lisaks sellele võimaldab akuga süsteem varustada tarbijat elektrienergia juhtudel kus ainult päikesest saadud energiast on vähe.

Selle jaoks et valida sobilik aku peab lähtuma süsteemi parameetritest ning nõuetest. Tegurid mis mõjutavad akupatarei valikut on toodud allpool.

- Süsteemi pinge
- Mahtuvus
- Maksimum lubatav laadimisvool
- Mõõdud
- Kaal
- Hind

Vastavalt muunduri nõudmisele peab aku pinge olema 12 V. Selle mahtuvuse valik tugineb suuremal määral toodetud ja tarbitud energiahulgal päeva kohta. Patarei peaks olema piisava mahtuvusega et salvestada kogu päeva jooksul toodetud energia. Eestis Juuni kuus toodab 1 kW päikesepaneeli süsteem ligikaudselt 5 kWh päevas [10]. 200 W süsteemi puhul oleks toodang 1 kWh päevas. Kogu aku mahtuvus võiks arvutuslikult olla 83,3 Ah (Valem 1). Kuid samas võib ka

akupaki mahtuvus olla vähem arvestades et osa energiahulgast kasutatakse ka päeval ära. Selle töö raames pole voolutarbija kindlaks määratud, enam tähtis on kontseptsiooni arendus. Järelikult võib kasutada kuigivõrra väiksemat akupatareid.

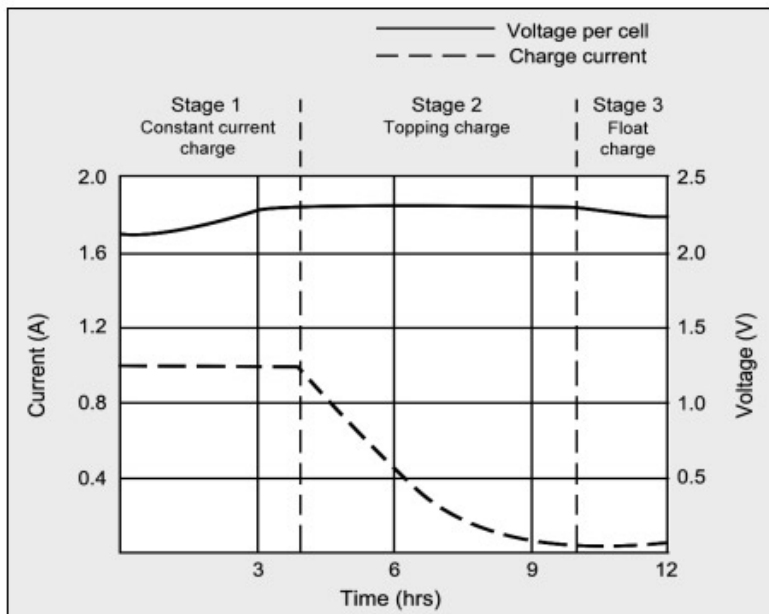
$$I_t = \frac{C}{U} \quad (1)$$

Kus  $I_t$  on patarei mahtuvus [Ah], C on energiahulk [Wh] ning U on patarei nominaal pingeline [V].

Sobilikude parameetritega akupatarei pakub näiteks Victronenergy BAT412600084, AGM Deepcycle 12 V 66 Ah [11]. Mis on üks plii-hape akutüüpe, kuid omab mitmeid eeliseid võrreldes tavaliste plii-hape patareidega. AGM tüüpi akusid on võimalik laadida kuni viis korda suuremate vooludega, tänu sellele on aku laadimisega aeg kordades vähem. Lisaks sellele omavad sellised akud väiksemat sisendtakistust kui tavalised plii-hape akud, mis võimaldab nendel vajadusel väljastada suurema tugevusega väljundvoolu. Lisaks sellele on AGM aku hooldusvaba ja ei vaja perioodilisi täislaadimisi [12].

#### **2.4.1 Aku laadimismetoodika**

Plii-hape akupatareide laadimiseks kasutatakse CC/CV (Constant Current/Constant Voltage) metoodikat (Joonis 2.4). Kus akut laetakse esialgu konstantse vooluga kuni selle pingeline tõuseb ülemise laadimispiirini. Selle järel hoitakse konstantsena pinget aku täieliku laadimiseni. Konstantse voolu laadimisaeg võtab umbes pool kogu laadimis ajast ning laeb akut ligikaudselt 70 protsendini. Laadimise lõpuks kukub vool piisavalt madalale, et hoida akut laetuna [13].



**Stage 1:** Voltage rises at constant current to V-peak.

**Stage 2:** Current drops; full charge is reached when current levels off

**Stage 3:** Voltage is lowered to float charge level

Joonis 2.4. CC/CV Plii-hape aku laadimis meetodika [13]

## 2.5 Projekteerimise vahekokkuvõte

Projekteerimise käigus on paika pandud süsteemi osad ning nende eesmärgid. Leitud on sobilik programmeeritav PV muundur, mis võimaldaks teostada püstitatud eesmärgid. Muundurile on sobitud päikesepaneelid ja akupatarei. Valgusandurite tagasiside jaoks kasutatakse arenduplaati Arduino, mis omaette suhtleb muunduriga.

Projekteerimise käigus on samuti koostatud ostulist, kus on toodud kõik vajalikud komponendid ja moodulid. Ostulistis sisaldub nende komponentide nimetused, mudelinumbrid, parameetrid lingid ja hinnad. Muunduri komponentide nimekiri on koostatud tänu selle BOM-i (Bills of Materials) olemasolule. Kõikidele komponentidele, mis ei ole kättesaadavad (laos otsas või enam ei toodeta) on leitud samaväärsed alternatiivid. Selle abil on võimalik kiirelt ja mugavalt osta kõike mis on projekteerimiseks vajalik, ning hinnata projekti komponentide maksumust.

### 3. SIMULEERIMINE

Simuleerimine on tähtis projekteerimise protsessi osa. Pärast seda kui on püstitatud kõik eesmärgid, selgeks tehtud kõik nõuded ning on paika pandud kõik süsteemi osad tuleks katsetada seda arvutisimulatsioonis. Süsteemi simuleerimisel on mitu tähtsat eesmärki, mis aitavad saavutada õiget lõputulemust. Projekteeritud päikesemuunduri juhul on see eelkõige kontseptsiooni kontroll. Selle käigus luuakse põhjalik tööloogika ning kontrollitakse seda. Simulatsiooni eeliseks on võimalus muuta kiirelt ja murevabalt muunduri komponentide parameetreid või mikrokontrolleri koodi.

Lõputöö raames oli tehtud simulatsioon tarkvara „**PLECS** versioon 4.3.6“ abil. Antud simulatsiooni keskkonnas on võimalik luua elektriskeeme, muuta ning jälgida parameetreid, arendada juhtloogikat koodi põhjal [14].

Elektriskeemi koostamisel oli ülimalt tähtis säilitada kõik muunduri tähtsamad jõuelektroonika osad. Väiksemate komponentide olemasolu küll teeb simulatsiooni põhjalikumaks kuid ei ole otseselt vajalik.

#### 3.1 Skeem

Simulatsiooni skeem (Joonis 3.1) kordab suuremalt jaolt TIDA-010042 elektriskeemi, kuid on mõnevõrra lihtsustatud. Kogu skeemi võib jaotada kolmeks osaks: toite osa PV-elementidega, muunduri osa ning filtriga väljund.

Toite osa koosneb neljast päikese elemendist ja kondensaatorist C25, mis kajastab TIDA muunduri skeemis olevad rööpühenduses 7 kondensaatorit kogu mahtuvusega 2423,5  $\mu$ F. PV-elementidel on kaks sisendit millest üks on temperatuuri konstant ja teine valguse parameeter. Kahel alumisel elemendil on olemas lisa lahutus plokid teatud hetkel valguse parameetri vähendamiseks või varju tekitamiseks.

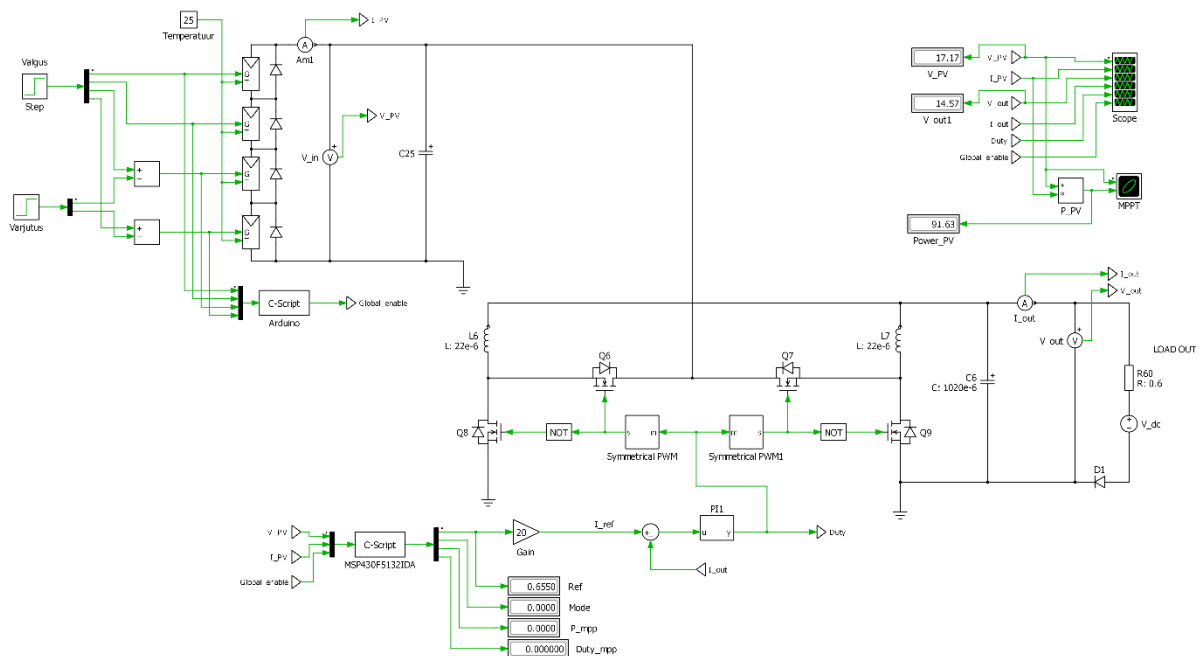
Muunduri osas on kaks alaldi ahelat transistorite (Q6, Q7) ja poolidega (L6, L7). Mõlemad transistorid Q6 ja Q7 on juhitavad PWM moodulitest mis saavad omaette sisendi C-Skript plokist. Täiteteguri sujuvama muutumiseks ja voolu tagasiside arvestamiseks on C-Skript ploki ja PWM moodulite vahel PI regulaator. Selle eesmärk on tagada konstantset laadimisvoolu aku jaoks. Tasub mainida et paremapoolse alaldi PWM juhtplokk on pooltakti hilinemisega. Transistorid Q8 ja Q9 on

ühendatud sama PWM ploki väljundisse läbi „NOT“ loogilise invertööri. Selle eesmärk on sulgeda neid hetkel kui Q6 ja säilitada vooluringlus poolides.

Väljundi osas on kondensaatorist koosnev filter ning aku aseskeem. Aku aseskeemina kasutatakse pingevalikat koos jadamisi ühendatud takistiga.

Arduino saab omad sisendid valgusanduritest ning selle juhtloogika, nagu ka muunduri mikrokontrolleril on tehtud koodi põhjal.

Parameetrite jälgimiseks simulatsiooni ajal on kaks joonist plokki ning muutujate kuvarid. Scope nimelise joonisega kuvatakse muunduri sisend ja väljund parameetrid ning täitetegur. MPPT joonisel kuvatakse paneeli võimsusevõimsuse sõltuvust pingest.



Joonis 3.1. Simuleerimise skeem

### 3.2 Muunduri tööloogika

Selles peatükis vaatleme muunduri algoritmi detailsemalt. Kogu algoritmi implementeerimine toimub C-Skripti plokkis, mis reguleerib omaette PWM juhtplokkide täitetegurit. C-Skriptil on kolm sisendit: paneelide vool, paneelide pinge ning digitaalne sisend Arduinost. Vool ja pinge on olulised parameetrid MPPT algoritmi teostamiseks. Digitaalne sisend Arduinost ütleb ette millal peab globaalse MPPT režiimi sisse lülitama.

Kogu algoritmi juhtimine toimub C-Skript plokis, mida saab programmeerida C programmeerimiskeele koodiga. Kõige tähtsam juhtloogika, mis võimaldab leida võimsuse maksimumpunkti on samuti programmeeritud.

Järgmine osa kirjeldab muunduri osa programmikoodi ja selle eripärasusi. Peale muutujate ja sisensignaalide deklareerimist algab muunduri põhiline C koodi osa (Joonis 3.2). Selle töös võib eristada kahte töörežiimi: globaal ja local MPPT. Selle eristamiseks on kasutusel muutuja „Mode“, kus väärtused 1 ja 0 on vastavalt global ja local MPPT. Tavaolukorras (Mode on null) jälgitakse lokaalset MPPT punkti P&O algoritmiga. Pinge ja võimsuse parameetreid võrreldakse iga aja hetke tagant, mis on määratud „Sample\_Delay“ muutujaga, andtud juhul on 0,005 sekundit. Kohe if-lause sisenemisel antakse ette järgmine võrdluse aeg „Next\_Sample“. Vastavalt sellele kuidas muutus pinge ja võimsuse parameetrid korrigeeritakse täitetegur. Ning lõpus salvestatakse parameetrid järgmiseks võrdluseks.

```
// LOCAL MPPT
else {
    if (CurrentTime >= Next_Sample){
        Next_Sample = CurrentTime + Sample_Delay;

        if (P > Pprev) { // if power increased
            if (V > Vprev) { // if voltage increased
                Duty = Duty - Duty_step;
            }
            else { //if voltage decreased
                Duty = Duty + Duty_step;
            }
        }
        if (P < Pprev) { // if power Decreased
            if (V > Vprev) { // if voltage increased
                Duty = Duty + Duty_step;
            }
            else { //if voltage decreased
                Duty = Duty - Duty_step;
            }
        }
        // Store previous values
        Pprev = P;
        Vprev = V;
    }
} //Local MPPT END
```

Joonis 3.2. P&O algoritm C koodis

Järgmises koodinäites jälgitakse Arduino väljund parameetrit ja selle eelmist väärtust (Joonis 3.3). Selle muut nullist ühte tuvastab muunduri C kood. Juhul kui sisendi parameeter „Global\_start“ on üks ja „Global\_start\_prev“ on null käivitatakse GMPPT (Global Maximum Power Point Tracking) algoritm.



```

if ((Global_start)&&(!Global_start_prev)){ //Detects the rising front
    Mode = 1;
    Global_start_prev = Global_start;
}

```

Joonis 3.3. Signaali tõusva fronti tuvastus GMPPT käivitamiseks

GMPPT töörežiimis, ehk „Mode“ väärtus on üks (Joonis 3.4). Selle alguses nullitakse täiteteguri muutuja ning antakse ette GMPPT alguse aeg. Aja viivitus GMPPT käivitamiseks on vajalik süsteemis olevate kondensaatorite tühjaks laadimise jaoks.

```

//GLOBAL MPPT SCAN
if (Mode){
    if(!Mode_prev){ //executed once when global search activated
        Duty = 0;
        Mode_prev = 1;
        Global_start_time = CurrentTime + 0.025;
    }
}

```

Joonis 3.4. GMPPT C koodi algus

Järgmises koodinäites on näidatud MPP leidmine kogu võimsuskõvera ulatuses (Joonis 3.5). Täiteteguri muutujat suurendatakse 0,01 võrra iga aja hetke tagant ning juhul kui paneeli võimsus on kasvanud salvestatakse täiteteguri väärtus „Duty\_mpp“. Aja viivitus on määratud muutujaga „Sample\_global\_delay“.

```

if (CurrentTime >= Global_start_time){
    if (CurrentTime >= Next_Sample){
        Next_Sample = CurrentTime + Sample_global_delay;
        Duty += 0.01;
        if (P > P_mpp){
            Duty_mpp = Duty;
            P_mpp = P;
        }
    }
}

```

Joonis 3.5. MPP leidmine kogu võimsuskõvera ulatuses

Peale MPP leidmist lülitakse töörežiim tagasi local MPPT algoritmile (Joonis 3.6). Täiteteguri väärtuseks määratakse GMPPT käigus leitud maksimum võimsuse juures olev „Duty\_mpp“. Kuid tasub märkida, et täiteteguriks on võetud 0,15 ühikut vähem, see on tingitud täiteteguri väärtuse hilinemisega GMPPT ajal PI regulaatori tõttu. Samas nullitakse maksimum leitud võimsuspunkt ja täitetegur järgmiseks GMPPT otsinguks. Local MPPT töörežiimi alustuseks antakse ette selle käivitamise aeg „Next\_Sample“, mis on antud juhul 0,025 sekundit hilinemisega. Nii on tagatud MPP jõudmine õigesse kohta.

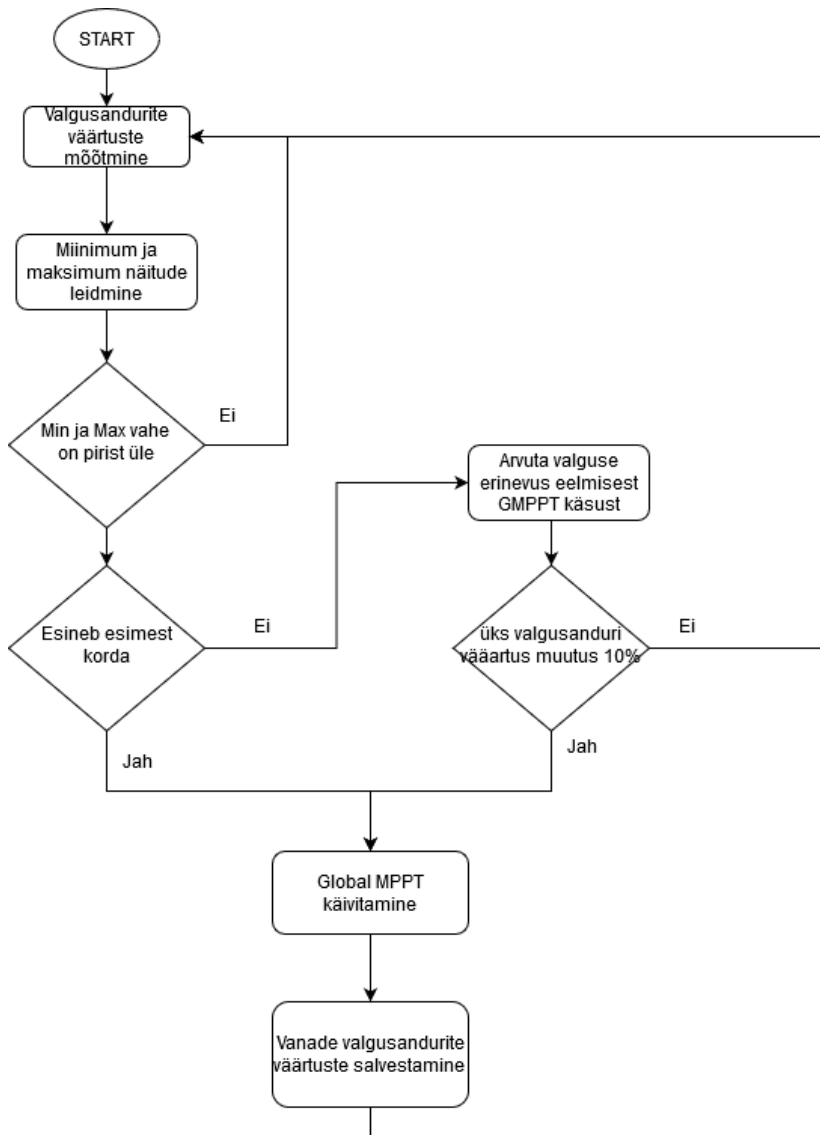
```
if (Duty >= 0.99){ //Exit global MPPT command
    Mode = 0;
    Mode_prev = 0;
    Duty = Duty_mpp - 0.15;
    Duty_mpp = 0;
    P_mpp = 0;
    Next_Sample = CurrentTime + 0.025;
}
} //Global MPPT end
```

Joonis 3.6. GMPPT algoritmi lõpp C koodis

### 3.3 Arduino tööloogika

Arduino C-Skipt ploki ülesanne on koguda valgusanduritest infot ning otsustada millal anda muunduri mikroprotsessorile käsk käivitada Globaalne MPPT (Joonis 3.7). Algoritm on programmeeritud sellisel viisil et tekitab signaali lühiajalise tõusu kõrgesse olekusse. Globaalne MPPT alustatakse signaali tõusva frondi esinemisel.

Juhul kui tuvastatakse erinevus valgusandurite näitudes esimene kord siis antakse GMPPT otsinguks signaal tingimata. Uuesti GMPPT signaali andmiseks peab üks andurite valguse parameeter muutuma vähemalt 10% võrra. Selline juhtloogika käivitab muunduris GMPPT otsingut ainult siis kui on oodatud mitu lokaalset MPP või selle asukoht võis muutuda. Samas väldib ebavajalikke GMPP otsinguid.



Joonis 3.7. Arduino C-Skripti tööalgoritm

Arduino programm (Joonis 3.8) alustab andurite parameetrite salvestusest ühte massiivi „Sensor“. Massiivis andmeid on lihtsam võrrelda ja töödelda. Sarnaselt muundurile võrreldakse Arduinos andmeid iga aja hetke tagant. See on reguleeritud „Delay“ muutujaga. Sellele järgneb valgusandurite miinimum ja maksimum väärtuste leidmine. Maksimum ja miinimum väärtusele omistatakse esimese anduri näit, et hiljemalt oleks millega võrrelda. FOR-lauses toimub kaks võrdlust. Esimeses leitakse üles anduritest maksimum väärtuse, teises – miinimum. Juhul kui anduri väärtus on suurem olemasolevast maksimumist siis omistatakse maksimumile selle anduri näit. Miinimumi leidmisel on tingimuseks väiksem anduri näit kui olemasolev miinimum.

```

float Sensor[4] = {Sensor0, Sensor1, Sensor2, Sensor3}; //Actual
sensor values

if (CurrentTime >= Next_sample){
Next_sample = CurrentTime + Delay;
Sensor_min = Sensor[0];
Sensor_max = Sensor[0];

    for (int i = 0; i < 4; ++i){
        if (Sensor[i] > Sensor_max){
            Sensor_max = Sensor[i];
        }
        if (Sensor[i] < Sensor_min){
            Sensor_min = Sensor[i];
        }
    }
} //Max, Min For end

```

Joonis 3.8. Maksimum ja miinimum väärtuste leidmine

Järgmise sammuga arvutatakse maximum ja miinimum andurite näitude vahe. Kui see vahe ületab lubatud väärtust „Max\_difference“ täidetakse kõik järgmised sammud, vastasel juhul signaali GMPPT otsinguks ei esine, ehk „Mode“ muutujat hoitakse nulli väärtusega. Esimesel korral erinevuse tuvastamisel käivitatakse GMPPT otsing, muutujale „Global\_start“ omistatakse väärtus üks. Ning seejärel salvestatakse kõikide andurite väärtused massiivi „Sensor\_prev“.

```

// OUTPUT CALCULATION
Difference = Sensor_max - Sensor_min; //Differnece in light
if (Difference > Max_difference){
    if (First_search){ //First search
        Global_start = 1;
        First_search = 0;
        for(int j = 0; j < 4; ++j){
            Sensor_prev[j] = Sensor[j]; //Remember values from
last GMPPT
        }
    } //end First search

```

Joonis 3.9. Globaalse MPPT käivitamine

Valgusandurite näitude erinevuse esinemistel järgmiste kordade puhul arvutatakse välja vahe eelmisest GMPPT otsingust. Juhul kui selle erinevus on 0,1 ühikut omistatakse „Difference\_triger“ väärtus üks. Tänu sellele käivitatakse järgnevas IF-lauses GMPPT ning salvestatakse vanad andurite väärtused.

```

else{ //Diffence from last light values
  for (int n = 0; n < 4; ++n){
    Sensor_difference[n] = Sensor[n]- Sensor_prev[n];
    if ((Sensor_difference[n] >= 0.1)|| (Sensor_difference[n] <= -0.1)){
      Difference_trigger = 1;
    }
  }
  if (Difference_trigger){
    Global_start = 1;
    for(int j = 0; j < 4; ++j){
      Sensor_prev[j] = Sensor[j]; //Remember values from last GMPPT
    }
  }
}

```

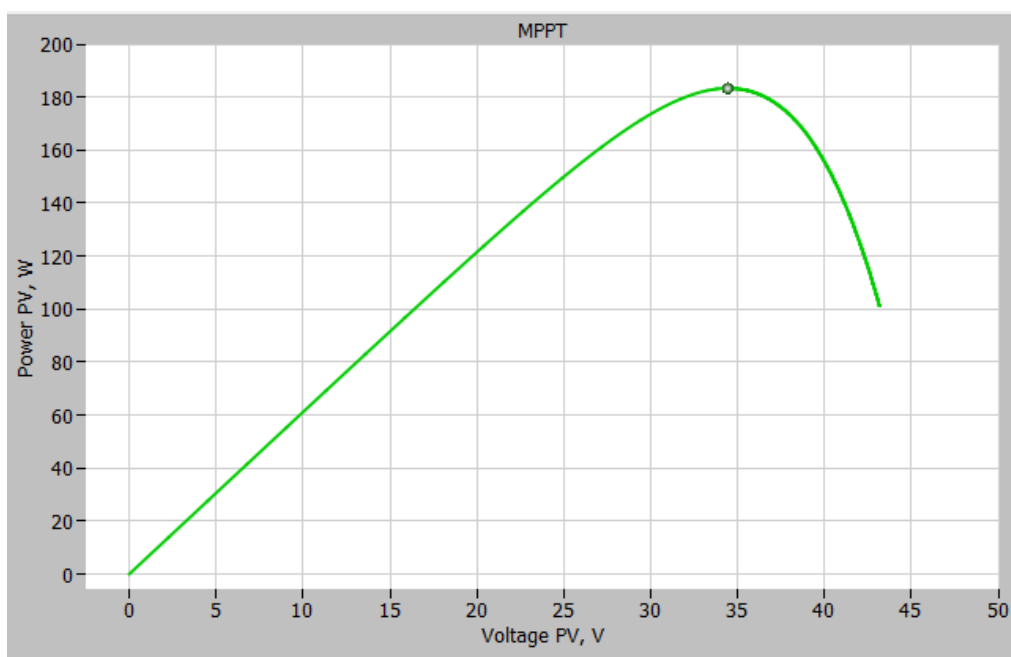
Joonis 3.10 GMPPT käivitamine andurite näitude muutumisel

Kui aga valgusandurid on ligikaudselt samade väärtustega või andurite näidud pole muutunud eelmisest GMPPT-st siis on „Global\_start“ väärtus null, mis sunnib muundurit töötama lokaalse MPPT režiimis.

## 4. TULEMUSTE ANALÜÜS

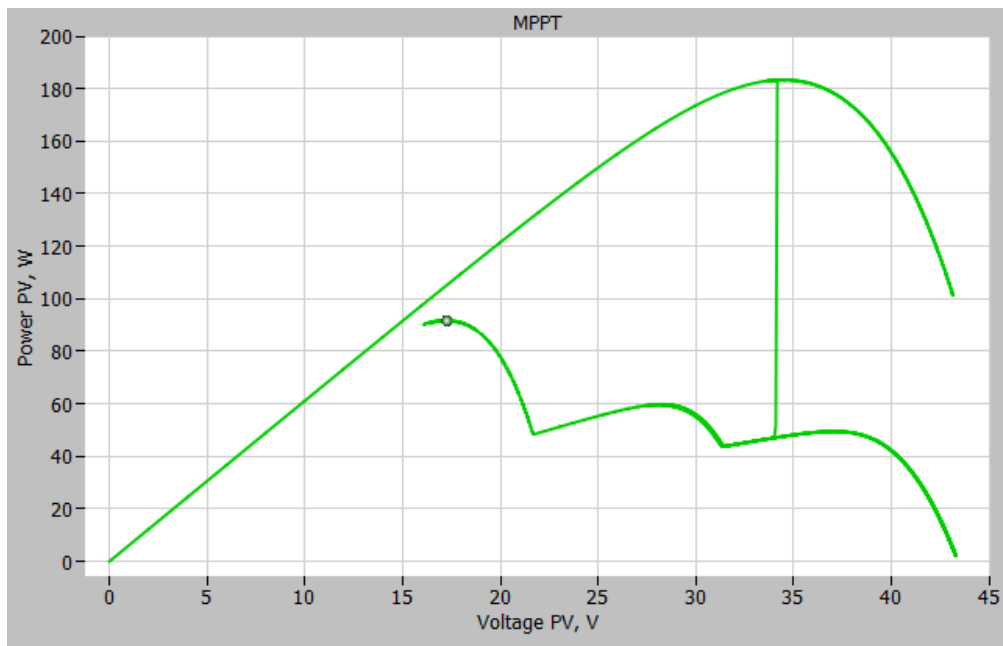
Kõik simulatsiooni tulemused ja muutused on kajastatud graafikutel. Simulatsiooni keskkonnas on kaks graafikut. Esimene on MPPT võimsuskõvera graafik, mis näitab PV võimsuse sõltuvust selle pingest. Teine graafik on muude parameetrite jälgimiseks: PV vool, PV pinge, väljundvool ja -pinge, täitetegur ning GMPPT signaal.

Edasi vaatleme MPPT graafikut ja selle käitumist. Ühtlase valgusega töötab muundur lokaalse MPPT algoritmiga ning jääb üheainsa MPP tippu (Joonis 4.1). Seda siis võimsusel 183 W ning pingega 34 V.



Joonis 4.1 MPPT graafik

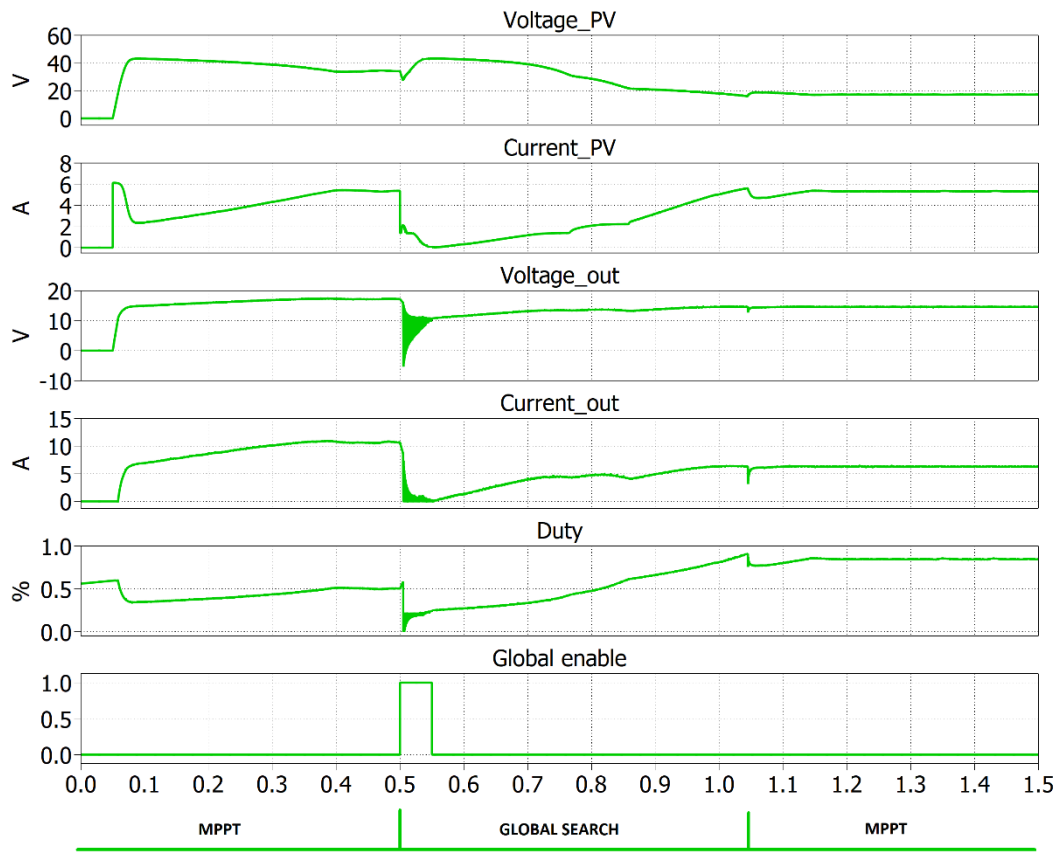
Varju ilmnemisel kukub kogu paneeli võimsus 50 W peale (Joonis 4.2). Valguse erinevusest hakkab muundur teostama GMPPT otsingu ning tuvastab, et kõige suurem võimsus selliste tingimustega on 90 W. Pärast GMPPT lõpetamist jätkab tavapärases töörežiimis jälgima maksimum võimsuspunkti. Graafikul on näha kolm lokaalset MPP. Muundur mis ei oma GMPPT võimalust oleks jäänud vasakult lugedes kolmanda või täiteteguri inertsiiga teise võimsuskõvera mäe tippu. GMPPT algoritmiga muundur suudab välja võtta antud tingimustes peagi 2 korda rohkem võimsust.



Joonis 4.2. Võimsuskõver pärast GMPPT

Järgmised graafikud näitavad erinevate parameetrite muutust ajas (Joonis 4.3).

Ülemised kaks näitavad päikesepaneeli pinget ja vooluväärtusi. Nende parameetrite abil juhitakse MPPT algoritmid. Kolmas ja neljas graafikud on väljundpinge ja väljundvoolu graafikud. Väljundvoolu tugevusest sõltub aku laadimiskiirus. Hea valgusega on väljundvool 10,7 A. Globaalse otsingu ajal on näha voolu langemist, selle vältel on ka süsteemi väljundvõimsus väiksem. Just selle otsingu käivitamine ainult nõutud olukorras tagaks efektiivsema muunduri töö ilma lisakadusid. Viiendal graafikul on näidatud täiteteguri väärtus protsentides. Selle abil juhitakse muunduri väljundparameetreid. Globaalse otsingu käivitamisel on näha kuidas täiteteguri väärtus suureneb nullist 0,95%. Ning viimasel graafikul on näidatud Arduino väljundsignaali GMPPT käivitamiseks. See muutub kõrge olekusse sel hetkel, kui tuvastab erinevust valguses. Selle signaali tõusvat fronti tuvastab muundur ning alustab GMPPT algoritmi.



Joonis 4.3. PV, väljundparameetrite ja muutujate graafikud



## KOKKUVÕTE

Lõputöö käigus oli uuritud erinevaid MPPT muundurite tööalgoritme. valgusparameetrite mõju PV muundurite väljundvõimsusele. Selgus, et ebaühtlase valguse käes suudavad globaalse MPPT algoritmiga muundurid toota tunduvalt rohkem energiat (kuni 3 korda). Nende probleemiks on siiski energiakadu MPP otsimisel kogu võimsuskõvera ulatuses. Töö eesmärgiks oli efektiivsema tööalgoritmi loomine MPPT muunduritele.

Globaalse MPP otsingu käivitamiseks on välja töötatud täiendatud süsteem valgusandurite kasutamisega. Nende abil on võimalik mõõta valgusvoogu ja saata andmed Arduino arendusplaadile, mille eesmärk on valgusandurite näitude jälgimine ja edastamine globaalse otsingu signaali muundurisse.

Projekteerimise osana oli koostatud ka simulatsiooni mudel PLECS programmis. Selle eesmärgiks oli kontseptsiooni kontroll ja detailse juhtloogika loomine. Analoogselt reaalsele muundurile on simulatsiooni mudeli juhtalgoritm kirjutatud C-programmeerimiskeeles. See võimaldab kasutada olemasolevat programmi koodi projekti ehitamisel ja sätestamisel.

Simulatsiooni kohalt oli täidetud kõik ülesanded, kuid selle skeem võiks olla detailsem ja reaalse muunduriga sarnasem. Kõige efektiivsem oleks selle süsteemi töö pidevalt varjutustega kohtades, sest see jälgib just valguse muutumist.

Kahjuks pole jõutud selle lõputöö mahus valmis katseseadet. Töö edasisteks eesmärkideks on ehitada valmis katseseade ja testida väljatöötatud algoritme päris tingimustes. Lisaks sellele oleks ratsionaalne mõõta süsteemi omatarbe vool ning arvutada tegelik kasu uuest algoritmist. Sellise süsteemi lahendus kiiduväärsete parameetritega võrreldes olemasolevate süsteemidega võiks leida kohta ka tänapäevases päikeseenergeetikas.

## SUMMARY

Having done the research about different MPPT converter algorithms and how varies light parameters affect the output power, it became clear that in uneven light conditions such as partial shading the MPPT converters can produce discernibly more power. However, the problem with power loss during the MPP search of the whole power curve remains. The aim of the thesis was to create more effective algorithm for the charge controller.

A new enhanced system with the use of light sensor has been developed to start the global MPP search. It allows measuring the luminous flux and sending the data to Arduino microcontroller, which tracks the values and if necessary transmits the global MPP search signal to the controller.

Simulation model using PLECS software was created as part of the system design. The purpose of simulation was to investigate the concept and building detailed control logic. Likewise the real controller the simulation program code is made in C-language. This provides an opportunity to use current program code in building and tuning actual controller.

From the simulation point, all of the tasks were completed, although the schematics could be more detail and actual controller alike. Best results with this system can be achieved In places with constant shading, as it is monitoring the change in light.

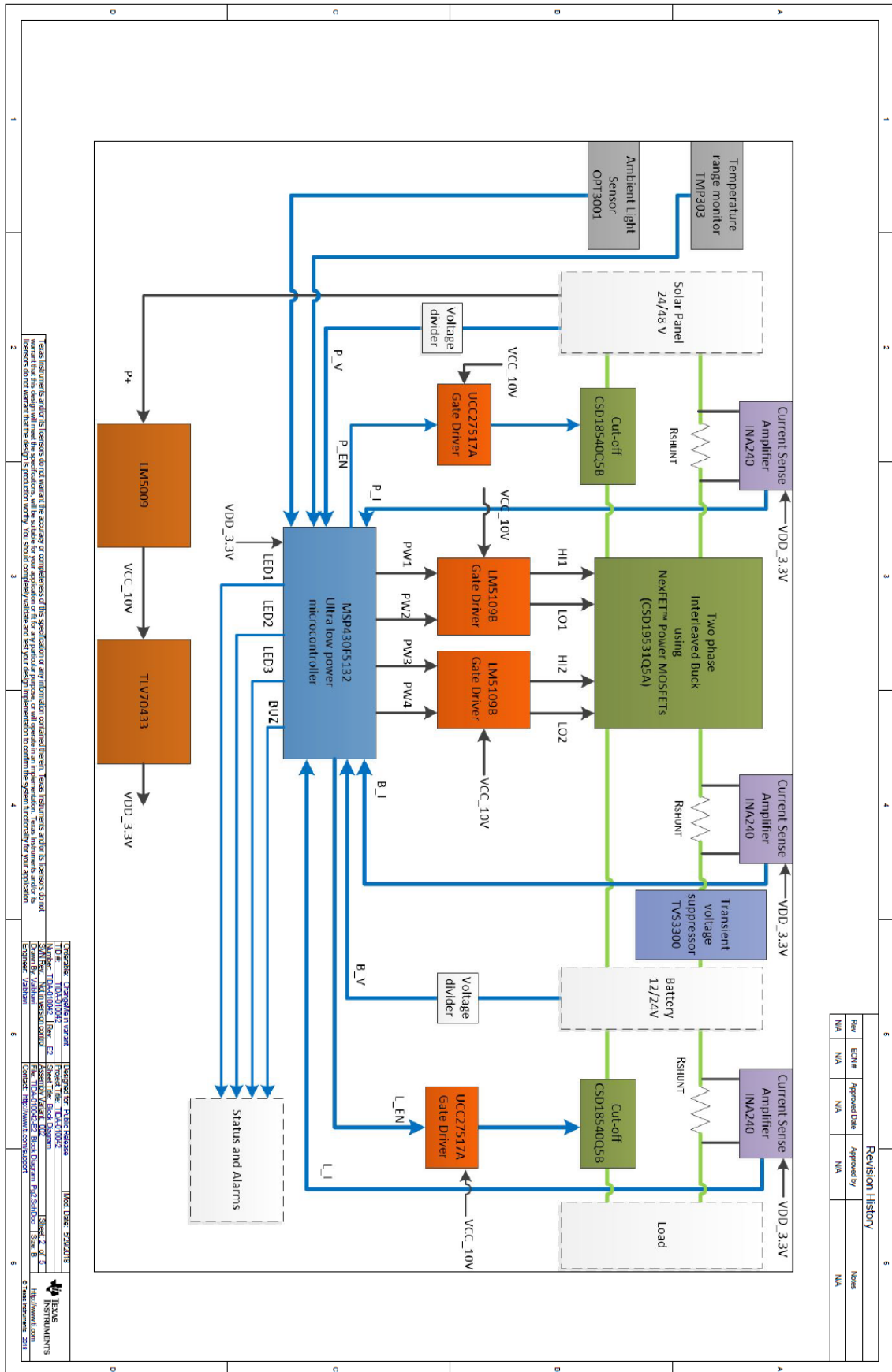
Unfortunately, in the scope of the thesis there is no complete system built. With the manufacturing of the real system, it would be possible to test the novel algorithm in objective conditions. Furthermore, it would be rational to measure systems own power use and calculate factual advantage from renewed algorithm. With commendable characteristics compared to current controllers this type of system could find its place in solar energy.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] P. A. Lynn, Electricity from Sunlight : An Introduction to Photovoltaics, John Wiley & Sons, Incorporated, 2010.
- [2] „Basics of MPPT Solar Charge Controller,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.leonics.com/support/article2\\_14j/articles2\\_14j\\_en.php](http://www.leonics.com/support/article2_14j/articles2_14j_en.php). [Kasutatud 11 04 2020].
- [3] „MPPT päikesekontrolleri tutvustus,“ 31 08 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://ee.solarregulator-olys.com/info/introduction-to-mppt-solar-controller-38632614.html>. [Kasutatud 07 05 2020].
- [4] „Comparison of Different MPPT Algorithms with a Proposed One Using a Power Estimator for Grid Connected PV Systems,“ 20 06 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.hindawi.com/journals/ijp/2016/1728398/>. [Kasutatud 04 05 2020].
- [5] „Global MPPT and Bypass Diodes,“ 03 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://help.aurorasolar.com/hc/en-us/articles/115001339907-Global-MPPT-and-Bypass-Diodes>. [Kasutatud 11 05 2020].
- [6] „Know how inverter MPPT functionality affects performance,“ 07 03 2018. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.solarpowerworldonline.com/2018/03/install-tip-inverter-mppt-functionality-affects-performance/>. [Kasutatud 09 05 2020].
- [7] „MPPT charge controller reference design for 12-V, 24-V and 48-V solar panels,“ 15 01 2020. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <http://www.ti.com/tool/TIDA-010042>. [Kasutatud 11 04 2020].
- [8] „A range of high performance UK manufactured silicon cell solar pane,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: [http://www.farnell.com/datasheets/2340599.pdf?\\_ga=2.121141000.1611349564.1589802620-91116498.1570867342&\\_gac=1.180230358.1586946659.Cj0KCQjw4dr0BRCxARIsAKUNjWQzh1wwtx2XwEVKTzuC7Cd5wiTLPNOGp2Y72\\_EBdf3ilqFh0YHfEDgaAoxbEALw\\_wcB](http://www.farnell.com/datasheets/2340599.pdf?_ga=2.121141000.1611349564.1589802620-91116498.1570867342&_gac=1.180230358.1586946659.Cj0KCQjw4dr0BRCxARIsAKUNjWQzh1wwtx2XwEVKTzuC7Cd5wiTLPNOGp2Y72_EBdf3ilqFh0YHfEDgaAoxbEALw_wcB). [Kasutatud 08 05 2020].

- [9] „BH1750 – Ambient Light Sensor,“ 06 08 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://components101.com/sensors/bh1750-ambient-light-sensor>. [Kasutatud 08 05 2020].
- [10] „Päikesepaneel,“ 16 03 2016. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://energiatalgud.ee/index.php/P%C3%A4ikesepaneel?menu-135>. [Kasutatud 24 04 2020].
- [11] „Gel and AGM Batteries,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf>. [Kasutatud 25 04 2020].
- [12] „Absorbent Glass Mat (AGM),“ 11 10 2017. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent\\_glass\\_mat\\_agm](https://batteryuniversity.com/learn/article/absorbent_glass_mat_agm). [Kasutatud 29 04 2020].
- [13] „Charging Lead Acid,“ 21 11 2019. [Võrgumaterjal]. Saadaval: [https://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_the\\_lead\\_acid\\_battery](https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery). [Kasutatud 15 05 2020].
- [14] „Simulation software for power electronics,“ [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.plexim.com/>. [Kasutatud 08 04 2020].

Lisa 1 TIDA-010042 Plokk diagramm

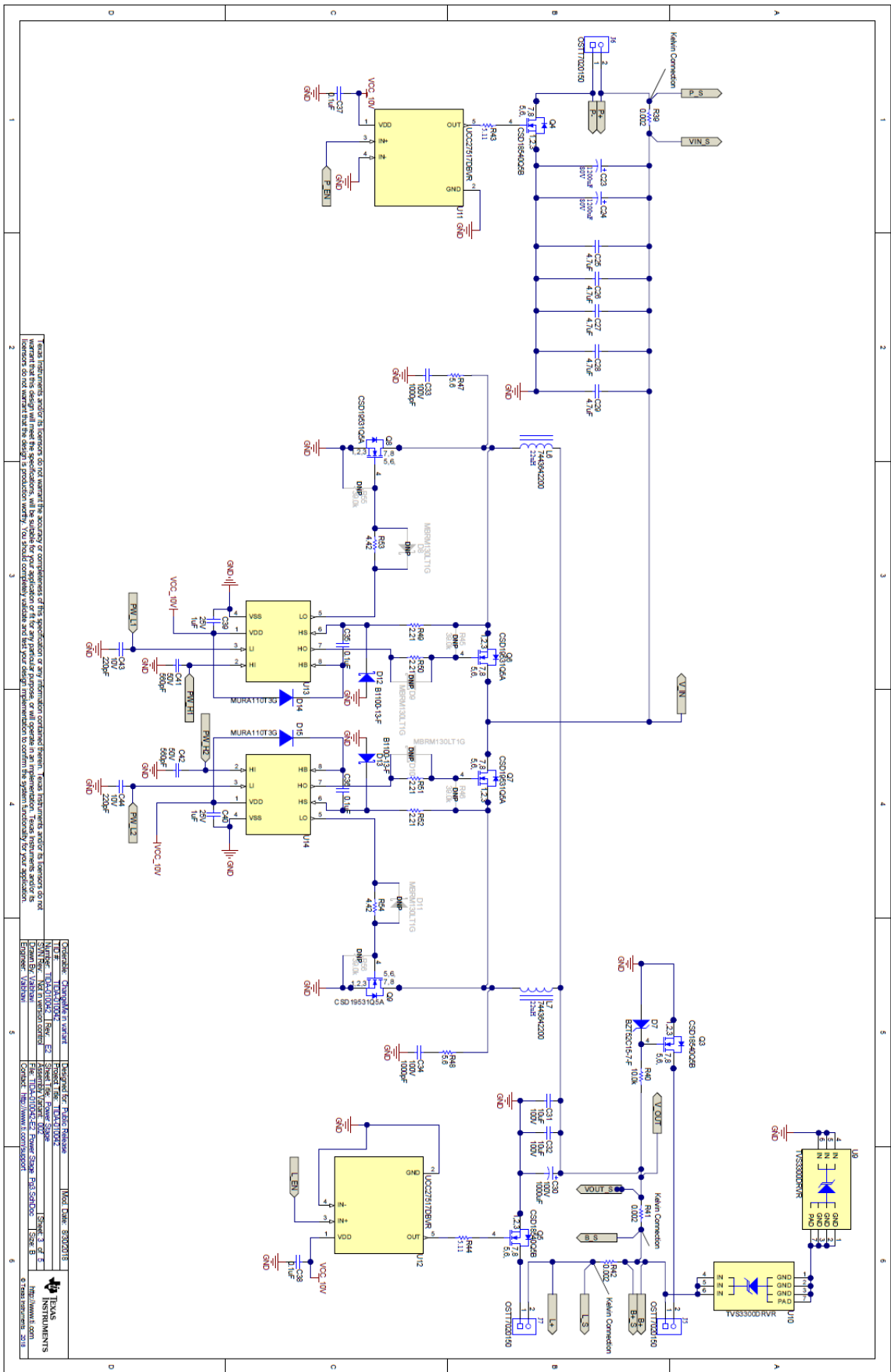


TI and its agents do not warrant the accuracy or completeness of this specification or any information contained herein. Texas Instruments and its agents do not warrant that the design is production worthy. You should completely validate and test your design implementation to confirm the system functionality for your application.

Rev	EEN #	Approved Date	Approved By	Notes
N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Rev	Approved Date	Approved By	Notes
1	08/20/2018	[Signature]	Initial Release
2	09/10/2018	[Signature]	Minor Changes
3	10/10/2018	[Signature]	Minor Changes
4	11/10/2018	[Signature]	Minor Changes
5	12/10/2018	[Signature]	Minor Changes
6	01/10/2019	[Signature]	Minor Changes
7	02/10/2019	[Signature]	Minor Changes
8	03/10/2019	[Signature]	Minor Changes
9	04/10/2019	[Signature]	Minor Changes
10	05/10/2019	[Signature]	Minor Changes
11	06/10/2019	[Signature]	Minor Changes
12	07/10/2019	[Signature]	Minor Changes
13	08/10/2019	[Signature]	Minor Changes
14	09/10/2019	[Signature]	Minor Changes
15	10/10/2019	[Signature]	Minor Changes
16	11/10/2019	[Signature]	Minor Changes
17	12/10/2019	[Signature]	Minor Changes
18	01/10/2020	[Signature]	Minor Changes
19	02/10/2020	[Signature]	Minor Changes
20	03/10/2020	[Signature]	Minor Changes
21	04/10/2020	[Signature]	Minor Changes
22	05/10/2020	[Signature]	Minor Changes
23	06/10/2020	[Signature]	Minor Changes
24	07/10/2020	[Signature]	Minor Changes
25	08/10/2020	[Signature]	Minor Changes
26	09/10/2020	[Signature]	Minor Changes
27	10/10/2020	[Signature]	Minor Changes
28	11/10/2020	[Signature]	Minor Changes
29	12/10/2020	[Signature]	Minor Changes
30	01/10/2021	[Signature]	Minor Changes
31	02/10/2021	[Signature]	Minor Changes
32	03/10/2021	[Signature]	Minor Changes
33	04/10/2021	[Signature]	Minor Changes
34	05/10/2021	[Signature]	Minor Changes
35	06/10/2021	[Signature]	Minor Changes
36	07/10/2021	[Signature]	Minor Changes
37	08/10/2021	[Signature]	Minor Changes
38	09/10/2021	[Signature]	Minor Changes
39	10/10/2021	[Signature]	Minor Changes
40	11/10/2021	[Signature]	Minor Changes
41	12/10/2021	[Signature]	Minor Changes
42	01/10/2022	[Signature]	Minor Changes
43	02/10/2022	[Signature]	Minor Changes
44	03/10/2022	[Signature]	Minor Changes
45	04/10/2022	[Signature]	Minor Changes
46	05/10/2022	[Signature]	Minor Changes
47	06/10/2022	[Signature]	Minor Changes
48	07/10/2022	[Signature]	Minor Changes
49	08/10/2022	[Signature]	Minor Changes
50	09/10/2022	[Signature]	Minor Changes
51	10/10/2022	[Signature]	Minor Changes
52	11/10/2022	[Signature]	Minor Changes
53	12/10/2022	[Signature]	Minor Changes
54	01/10/2023	[Signature]	Minor Changes
55	02/10/2023	[Signature]	Minor Changes
56	03/10/2023	[Signature]	Minor Changes
57	04/10/2023	[Signature]	Minor Changes
58	05/10/2023	[Signature]	Minor Changes
59	06/10/2023	[Signature]	Minor Changes
60	07/10/2023	[Signature]	Minor Changes
61	08/10/2023	[Signature]	Minor Changes
62	09/10/2023	[Signature]	Minor Changes
63	10/10/2023	[Signature]	Minor Changes
64	11/10/2023	[Signature]	Minor Changes
65	12/10/2023	[Signature]	Minor Changes
66	01/10/2024	[Signature]	Minor Changes
67	02/10/2024	[Signature]	Minor Changes
68	03/10/2024	[Signature]	Minor Changes
69	04/10/2024	[Signature]	Minor Changes
70	05/10/2024	[Signature]	Minor Changes
71	06/10/2024	[Signature]	Minor Changes
72	07/10/2024	[Signature]	Minor Changes
73	08/10/2024	[Signature]	Minor Changes
74	09/10/2024	[Signature]	Minor Changes
75	10/10/2024	[Signature]	Minor Changes
76	11/10/2024	[Signature]	Minor Changes
77	12/10/2024	[Signature]	Minor Changes
78	01/10/2025	[Signature]	Minor Changes
79	02/10/2025	[Signature]	Minor Changes
80	03/10/2025	[Signature]	Minor Changes
81	04/10/2025	[Signature]	Minor Changes
82	05/10/2025	[Signature]	Minor Changes
83	06/10/2025	[Signature]	Minor Changes
84	07/10/2025	[Signature]	Minor Changes
85	08/10/2025	[Signature]	Minor Changes
86	09/10/2025	[Signature]	Minor Changes
87	10/10/2025	[Signature]	Minor Changes
88	11/10/2025	[Signature]	Minor Changes
89	12/10/2025	[Signature]	Minor Changes
90	01/10/2026	[Signature]	Minor Changes
91	02/10/2026	[Signature]	Minor Changes
92	03/10/2026	[Signature]	Minor Changes
93	04/10/2026	[Signature]	Minor Changes
94	05/10/2026	[Signature]	Minor Changes
95	06/10/2026	[Signature]	Minor Changes
96	07/10/2026	[Signature]	Minor Changes
97	08/10/2026	[Signature]	Minor Changes
98	09/10/2026	[Signature]	Minor Changes
99	10/10/2026	[Signature]	Minor Changes
100	11/10/2026	[Signature]	Minor Changes
101	12/10/2026	[Signature]	Minor Changes
102	01/10/2027	[Signature]	Minor Changes
103	02/10/2027	[Signature]	Minor Changes
104	03/10/2027	[Signature]	Minor Changes
105	04/10/2027	[Signature]	Minor Changes
106	05/10/2027	[Signature]	Minor Changes
107	06/10/2027	[Signature]	Minor Changes
108	07/10/2027	[Signature]	Minor Changes
109	08/10/2027	[Signature]	Minor Changes
110	09/10/2027	[Signature]	Minor Changes
111	10/10/2027	[Signature]	Minor Changes
112	11/10/2027	[Signature]	Minor Changes
113	12/10/2027	[Signature]	Minor Changes
114	01/10/2028	[Signature]	Minor Changes
115	02/10/2028	[Signature]	Minor Changes
116	03/10/2028	[Signature]	Minor Changes
117	04/10/2028	[Signature]	Minor Changes
118	05/10/2028	[Signature]	Minor Changes
119	06/10/2028	[Signature]	Minor Changes
120	07/10/2028	[Signature]	Minor Changes
121	08/10/2028	[Signature]	Minor Changes
122	09/10/2028	[Signature]	Minor Changes
123	10/10/2028	[Signature]	Minor Changes
124	11/10/2028	[Signature]	Minor Changes
125	12/10/2028	[Signature]	Minor Changes
126	01/10/2029	[Signature]	Minor Changes
127	02/10/2029	[Signature]	Minor Changes
128	03/10/2029	[Signature]	Minor Changes
129	04/10/2029	[Signature]	Minor Changes
130	05/10/2029	[Signature]	Minor Changes
131	06/10/2029	[Signature]	Minor Changes
132	07/10/2029	[Signature]	Minor Changes
133	08/10/2029	[Signature]	Minor Changes
134	09/10/2029	[Signature]	Minor Changes
135	10/10/2029	[Signature]	Minor Changes
136	11/10/2029	[Signature]	Minor Changes
137	12/10/2029	[Signature]	Minor Changes
138	01/10/2030	[Signature]	Minor Changes
139	02/10/2030	[Signature]	Minor Changes
140	03/10/2030	[Signature]	Minor Changes
141	04/10/2030	[Signature]	Minor Changes
142	05/10/2030	[Signature]	Minor Changes
143	06/10/2030	[Signature]	Minor Changes
144	07/10/2030	[Signature]	Minor Changes
145	08/10/2030	[Signature]	Minor Changes
146	09/10/2030	[Signature]	Minor Changes
147	10/10/2030	[Signature]	Minor Changes
148	11/10/2030	[Signature]	Minor Changes
149	12/10/2030	[Signature]	Minor Changes
150	01/10/2031	[Signature]	Minor Changes
151	02/10/2031	[Signature]	Minor Changes
152	03/10/2031	[Signature]	Minor Changes
153	04/10/2031	[Signature]	Minor Changes
154	05/10/2031	[Signature]	Minor Changes
155	06/10/2031	[Signature]	Minor Changes
156	07/10/2031	[Signature]	Minor Changes
157	08/10/2031	[Signature]	Minor Changes
158	09/10/2031	[Signature]	Minor Changes
159	10/10/2031	[Signature]	Minor Changes
160	11/10/2031	[Signature]	Minor Changes
161	12/10/2031	[Signature]	Minor Changes
162	01/10/2032	[Signature]	Minor Changes
163	02/10/2032	[Signature]	Minor Changes
164	03/10/2032	[Signature]	Minor Changes
165	04/10/2032	[Signature]	Minor Changes
166	05/10/2032	[Signature]	Minor Changes
167	06/10/2032	[Signature]	Minor Changes
168	07/10/2032	[Signature]	Minor Changes
169	08/10/2032	[Signature]	Minor Changes
170	09/10/2032	[Signature]	Minor Changes
171	10/10/2032	[Signature]	Minor Changes
172	11/10/2032	[Signature]	Minor Changes
173	12/10/2032	[Signature]	Minor Changes
174	01/10/2033	[Signature]	Minor Changes
175	02/10/2033	[Signature]	Minor Changes
176	03/10/2033	[Signature]	Minor Changes
177	04/10/2033	[Signature]	Minor Changes
178	05/10/2033	[Signature]	Minor Changes
179	06/10/2033	[Signature]	Minor Changes
180	07/10/2033	[Signature]	Minor Changes
181	08/10/2033	[Signature]	Minor Changes
182	09/10/2033	[Signature]	Minor Changes
183	10/10/2033	[Signature]	Minor Changes
184	11/10/2033	[Signature]	Minor Changes
185	12/10/2033	[Signature]	Minor Changes
186	01/10/2034	[Signature]	Minor Changes
187	02/10/2034	[Signature]	Minor Changes
188	03/10/2034	[Signature]	Minor Changes
189	04/10/2034	[Signature]	Minor Changes
190	05/10/2034	[Signature]	Minor Changes
191	06/10/2034	[Signature]	Minor Changes
192	07/10/2034	[Signature]	Minor Changes
193	08/10/2034	[Signature]	Minor Changes
194	09/10/2034	[Signature]	Minor Changes
195	10/10/2034	[Signature]	Minor Changes
196	11/10/2034	[Signature]	Minor Changes
197	12/10/2034	[Signature]	Minor Changes
198	01/10/2035	[Signature]	Minor Changes
199	02/10/2035	[Signature]	Minor Changes
200	03/10/2035	[Signature]	Minor Changes



TI and its agents do not warrant the accuracy or completeness of the reproduction of any information contained herein. Texas Instruments, and its agents, do not warrant that this design will meet the specifications, will be suitable for your application or fit for any particular purpose, or will operate in an implementation. These instruments and/or its derivatives do not warrant that the design is production worthy. You should comprehensively validate and test your design implementation to confirm the system functionality for your application.

Product	Orderable Part Number	Product File	Product Folder
Transformer	T448M4200	Power Line	T448M4200
Bridge Rectifier	BR1	Power Line	BR1
Common Mode Choke	U2	Power Line	U2
Motor	M	Power Line	M
Motor Controller	U4	Power Line	U4
Motor Driver	U3	Power Line	U3
Full Bridge Inverter	U1	Power Line	U1
MOSFET	M1, M2, M3, M4	Power Line	M1, M2, M3, M4
Diode	D1, D2, D3, D4	Power Line	D1, D2, D3, D4
Capacitor	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37, C38, C39, C40, C41, C42, C43, C44, C45, C46, C47, C48, C49, C50, C51, C52, C53, C54, C55, C56, C57, C58, C59, C60, C61, C62, C63, C64, C65, C66, C67, C68, C69, C70, C71, C72, C73, C74, C75, C76, C77, C78, C79, C80, C81, C82, C83, C84, C85, C86, C87, C88, C89, C90, C91, C92, C93, C94, C95, C96, C97, C98, C99, C100	Power Line	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C22, C23, C24, C25, C26, C27, C28, C29, C30, C31, C32, C33, C34, C35, C36, C37, C38, C39, C40, C41, C42, C43, C44, C45, C46, C47, C48, C49, C50, C51, C52, C53, C54, C55, C56, C57, C58, C59, C60, C61, C62, C63, C64, C65, C66, C67, C68, C69, C70, C71, C72, C73, C74, C75, C76, C77, C78, C79, C80, C81, C82, C83, C84, C85, C86, C87, C88, C89, C90, C91, C92, C93, C94, C95, C96, C97, C98, C99, C100
Resistor	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32, R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R50, R51, R52, R53, R54, R55, R56, R57, R58, R59, R60, R61, R62, R63, R64, R65, R66, R67, R68, R69, R70, R71, R72, R73, R74, R75, R76, R77, R78, R79, R80, R81, R82, R83, R84, R85, R86, R87, R88, R89, R90, R91, R92, R93, R94, R95, R96, R97, R98, R99, R100	Power Line	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32, R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44, R45, R46, R47, R48, R49, R50, R51, R52, R53, R54, R55, R56, R57, R58, R59, R60, R61, R62, R63, R64, R65, R66, R67, R68, R69, R70, R71, R72, R73, R74, R75, R76, R77, R78, R79, R80, R81, R82, R83, R84, R85, R86, R87, R88, R89, R90, R91, R92, R93, R94, R95, R96, R97, R98, R99, R100
Inductor	L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30, L31, L32, L33, L34, L35, L36, L37, L38, L39, L40, L41, L42, L43, L44, L45, L46, L47, L48, L49, L50, L51, L52, L53, L54, L55, L56, L57, L58, L59, L60, L61, L62, L63, L64, L65, L66, L67, L68, L69, L70, L71, L72, L73, L74, L75, L76, L77, L78, L79, L80, L81, L82, L83, L84, L85, L86, L87, L88, L89, L90, L91, L92, L93, L94, L95, L96, L97, L98, L99, L100	Power Line	L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23, L24, L25, L26, L27, L28, L29, L30, L31, L32, L33, L34, L35, L36, L37, L38, L39, L40, L41, L42, L43, L44, L45, L46, L47, L48, L49, L50, L51, L52, L53, L54, L55, L56, L57, L58, L59, L60, L61, L62, L63, L64, L65, L66, L67, L68, L69, L70, L71, L72, L73, L74, L75, L76, L77, L78, L79, L80, L81, L82, L83, L84, L85, L86, L87, L88, L89, L90, L91, L92, L93, L94, L95, L96, L97, L98, L99, L100